

VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**Prototip mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju
držanja ljudskoga tijela**

Završni rad br. 12/MEH/2016

Mateo Markov

Bjelovar, ožujak 2017.

VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**Prototip mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju
držanja ljudskoga tijela**

Završni rad br. 12/MEH/2016

Mateo Markov

Bjelovar, ožujak 2017.



Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Markov Mateo**

Datum: 01.12.2016.

Matični broj: 001028

JMBAG: 0314010126

Kolegij: **VIRTUALNO OBLIKOVANJE MEHATRONIČKIH SUSTAVA**

Naslov rada (tema): **Prototip mehaničkog sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela**

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za završni rad:

1. dr.sc. Alan Mutka, predsjednik
2. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., mentor
3. mr.sc. Stjepan Golubić, član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 12/MEH/2016

U radu je potrebno:

- konstruirati u 3D CAD programskome alatu koncept ortopedske vage
- izraditi 3D i 2D dokumentaciju uređaja
- izraditi radioničku dokumentaciju za izradu dijelova uređaja
- izraditi električnu shemu stroja
- napraviti proračun konstrukcije i izvršnih aktuatora uređaja
- izraditi video zapis kinematike gibanja uređaja
- izraditi foto-realistični promidžbeni katalog
- izraditi uputstvo za upotrebu i popis zamjenskih dijelova

Zadatak uručen: 01.12.2016.

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**



SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ŠTO JE PROTOTIP	2
3. OPIS RADA	3
3.1. Nesrazmjer u dužini nogu.....	6
3.2. Supinacija i pronacija	7
4. MODELIRANJE PODRŽANO RAČUNALOM - CAD	8
5. PROGRAMSKI ALAT SOLIDWORKS	9
6. DIJELOVI PROTOTIPA MEHANIČKOGA SKLOPA.....	10
6.1. Mehanički dijelovi	12
6.2. Elektronika	21
7. IZRADA 3D MODELA MEHANIČKOGA SKLOPA	27
7.1. Modeliranje dijelova	27
7.2. Spajanje elemenata u sklop	34
8. METODA KONAČNIH ELEMENATA	42
9. ZAKLJUČAK.....	47
10. LITERATURA	48
SAŽETAK.....	50
ABSTRACT	51
PRILOZI.....	52

POPIS SLIKA

Slika 3.1. Prototip mehaničkoga sklopa	3
Slika 3.2. Način rada platformi	4
Slika 3.3. Verzija 1 (lijevi uređaj) i verzija 2 (desni uređaj)	5
Slika 3.4. Razlika u dužini nogu	6
Slika 3.5. Oblici stopala	7
Slika 4.1. Tijek CAD procesa.....	8
Slika 6.1. Razni aluminijski profili korišteni u prototipu.....	12
Slika 6.2. Kutni nosači	13
Slika 6.3. Nosač za linearni aktuator.....	13
Slika 6.4. SBR ležaj i vodilica.....	14
Slika 6.5. Kočnice za platforme; a) verzija 1; b) verzija 2	14
Slika 6.6. Kuglasti zglobovi tip C, M8.....	15
Slika 6.7. Vrste kočnica.....	16
Slika 6.8. Nivelirajuće nožice	16
Slika 6.9. Cijevne kutne stezaljke promjera 32 mm	17
Slika 6.10. Standardni metrički vijci korišteni u radu.....	17
Slika 6.11. Mehaničke spojnice.....	18
Slika 6.12. Tipovi razdjelnika	19
Slika 6.13. Pin clip - 9 mm	19
Slika 6.14. Drveno gazište.....	20
Slika 6.15. 3D printani poklopci (estetski dodatak)	20
Slika 6.16. Linearni aktuator	21
Slika 6.17. Mjerna ćelija nosivosti 150 kg	22
Slika 6.18. Mjerna ćelija- način rada.....	22
Slika 6.19. NI myDAQ.....	23
Slika 6.20. Arduino nano.....	24
Slika 6.21. Innoesys 4 DAC	25
Slika 6.22. A4988 modul.....	25
Slika 6.23. Modul za mjernu ćeliju	26
Slika 6.24. Napajanje 12V-5A	26
Slika 7.1. 3D model kućišta	27

Slika 7.3. 2D crtež profila	28
Slika 7.5. Model stepenica	28
Slika 7.7. Kućište za elektroniku.....	29
Slika 7.8. <i>Sketch</i> podloge kućišta	29
Slika 7.9. Korištenje opcije <i>Edge Flange</i>	30
Slika 7.10. Korištenje opcije <i>Miter Flange</i>	30
Slika 7.11. Savijanje lima.....	31
Slika 7.12. Model u izravnom i savijenom stanju	31
Slika 7.13. Donja desna ploča za platforme	32
Slika 7.14. Srednja ploča za platforme.....	32
Slika 7.15. Gornja ploča za platforme.....	33
Slika 7.16. Poklopac kućišta za elektroniku.....	33
Slika 7.17. Sklop lijeve i desne platforme.....	34
Slika 7.18. Princip spajanja elemenata u sklop	35
Slika 7.19. Donji dio sklopa u rastavljenom stanju.....	36
Slika 7.20. Gornji dio sklopa u rastavljenom stanju	36
Slika 7.21. Kabel u različitim pozicijama	37
Slika 7.22. Kabel u različitim pozicijama	37
Slika 7.23. Izrada kabla	38
Slika 7.24. Dodavanje teksture modelu.....	39
Slika 7.25. Opcija za dodavanje boje i materijala modelu	39
Slika 7.26. Sklop stepenica	40
Slika 7.27. Sklop kućišta.....	40
Slika 7.28. Sklop kućišta s elektronikom	41
Slika 8.1. FEM analiza sklopa platforme	42
Slika 8.2. Korištenje opcije <i>Split line</i>	43
Slika 8.3. Izrada novog materijala.....	44
Slika 8.4. Podatci o materijalu	44
Slika 8.5. Rezultati naprezanja.....	45
Slika 8.6. Rezultati deformacije	45
Slika 8.7 Rezultati deformacije naprezanja.....	46
Slika 8.8. FEM analiza gornjeg podsklopa platforme	46

1. UVOD

Tema je ovoga završnoga rada dizajnirati i konstruirati prvi prototip mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela. Glavna je svrha mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela mjerenje razlike u dužini nogu kod ljudi.

Budući da je to medicinsko pomagalo, treba proučiti problem i s medicinske strane kako bi mehanički sklop za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela bio praktičan i osigurao brže i točnije dijagnosticiranje u ortopediji.

Za izradu prototipa koristi se CAD (*engl. Computer Aided Design*) programski alat koji služi za oblikovanje virtualnog objekta, odnosno kreiranje 3D modela. Ideja je izraditi 3D/2D dokumentaciju, odabrati materijale i elemente, napraviti proračune i simulacije opterećenja konstrukcije. Na kraju izrade prototipa treba izraditi priručnik za upotrebu i popis zamjenskih dijelova te tehničku dokumentaciju sklopa i dijelova za izradu.

2. ŠTO JE PROTOTIP

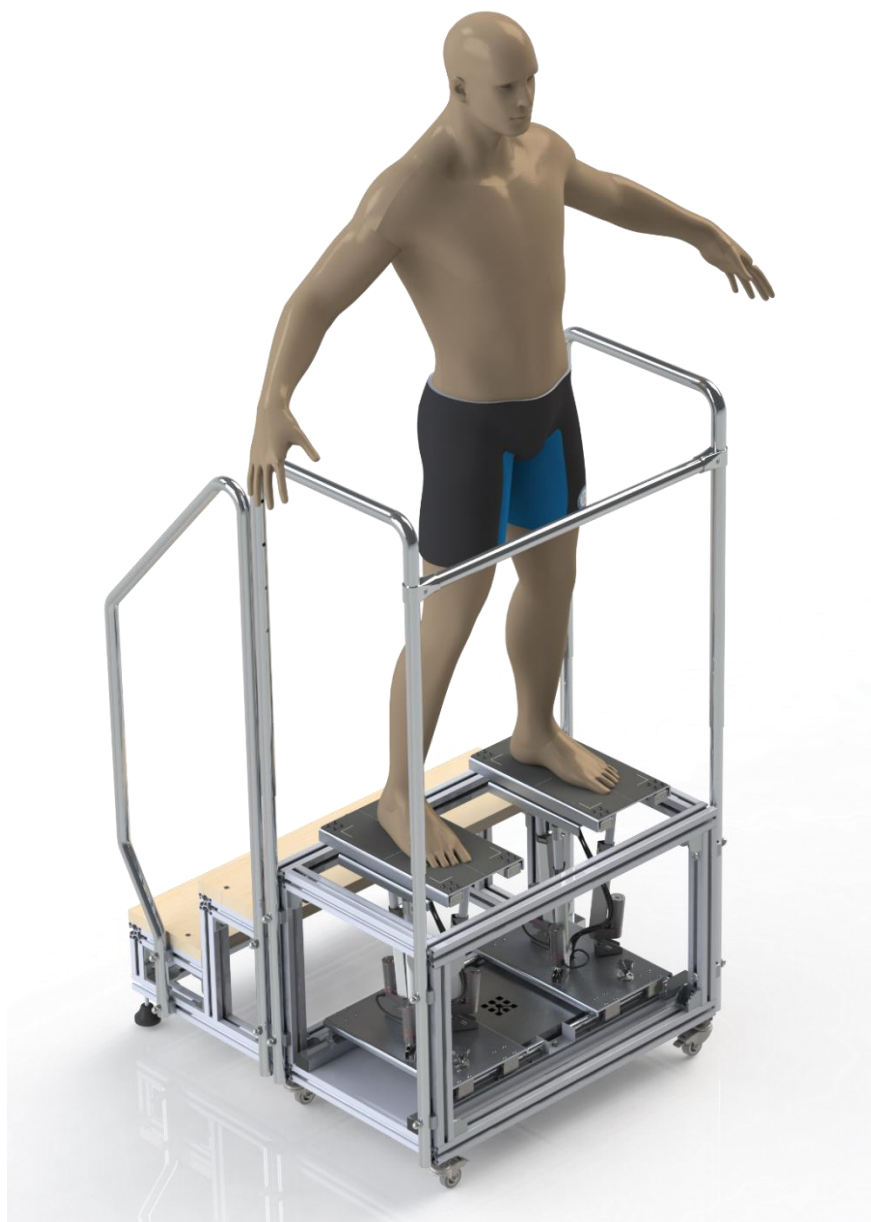
Proizvod koji je namijenjen za ispitivanje prije nego krene u serijsku proizvodnju, zove se prototip. U tehničkom i optičkom smislu nije nužno da jedan prototip odgovara gotovom proizvodu, ali je bitno da mu služi kao osnova [1].

Primjer mogu biti zračni jastuci korišteni u automobilima, koji nisu punjeni zrakom iako su prototipovi bazirani na zračnom punjenju. U serijskoj proizvodnji unutrašnjost jastuka ispunjava se sagorjelim plinovima nastalima pri eksploziji kapsule koja se nalazi kod zračnih jastuka. Posljedice izgorjelih plinova opekline su na licu vozača i suvozača koje nastaju zbog visokih temperatura u jastucima, ali se na prototipu moglo dokazati da je takvo punjenje učinkovitije od normalnog punjenja zrakom. Tijekom eksplozije plinovi koji sagorijevaju u jastuku prostiru se većim brzinama nego kod onih sa zračnim punjenjem [1].

Kod izrade prototipa ne postoje pogoni za serijsku proizvodnju te su oni u većini slučajeva novčano skuplji od serijskih proizvoda. U današnje vrijeme izrada prototipa sve se češće zamjenjuje računalnim modelima i simulacijama tako da je prvi gotov serijski proizvod često i prototip [1].

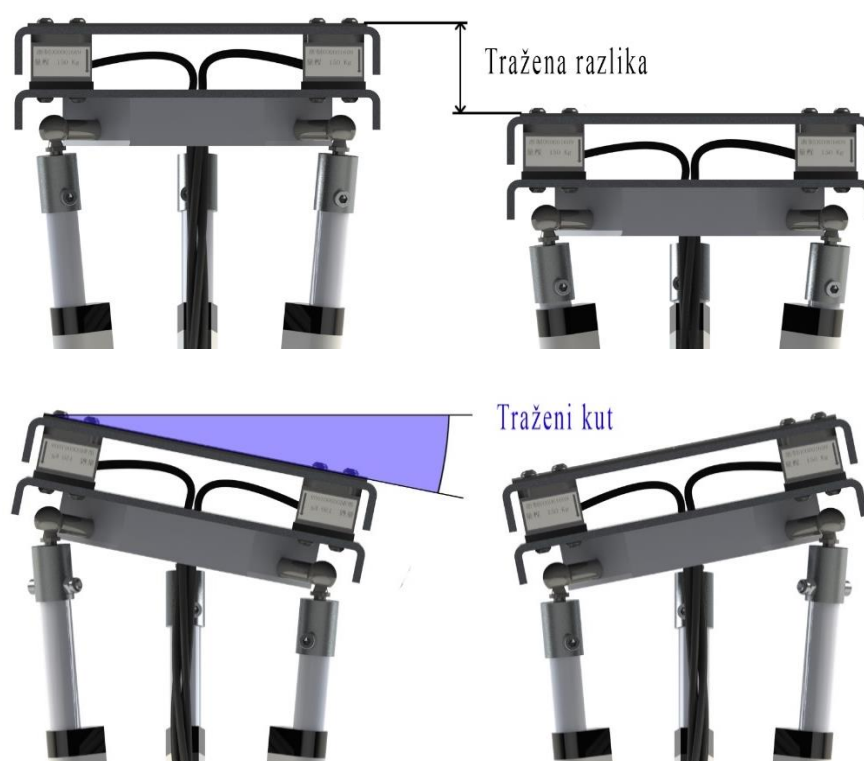
3. OPIS RADA

Glavni je cilj mehaničkog sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela odrediti razliku između duljine lijeve i desne noge. Razlika se određuje podizanjem i spuštanjem platformi na kojima se nalazi pacijent. Pomoću razlike težina uređaj određuje koliko se ploče moraju podignuti ili spustiti. Izjednačavanjem težine dobije se tražena razlika. Dodatno se radi korekcija nagnutosti stopala pacijenta. Rijedak oblik izvrtanja stopala koji se događa kada težina ljudskoga tijela prelazi na vanjski dio stopala (supinacija) ili kada težina ljudskoga tijela prelazi na unutarnji dio stopala (pronacija). To se postiže tako da nagnjemo ploču. Sve to služi ortopedu da napravi odgovarajući uložak za pacijenta.



Slika 3.1. Prototip mehaničkoga sklopa

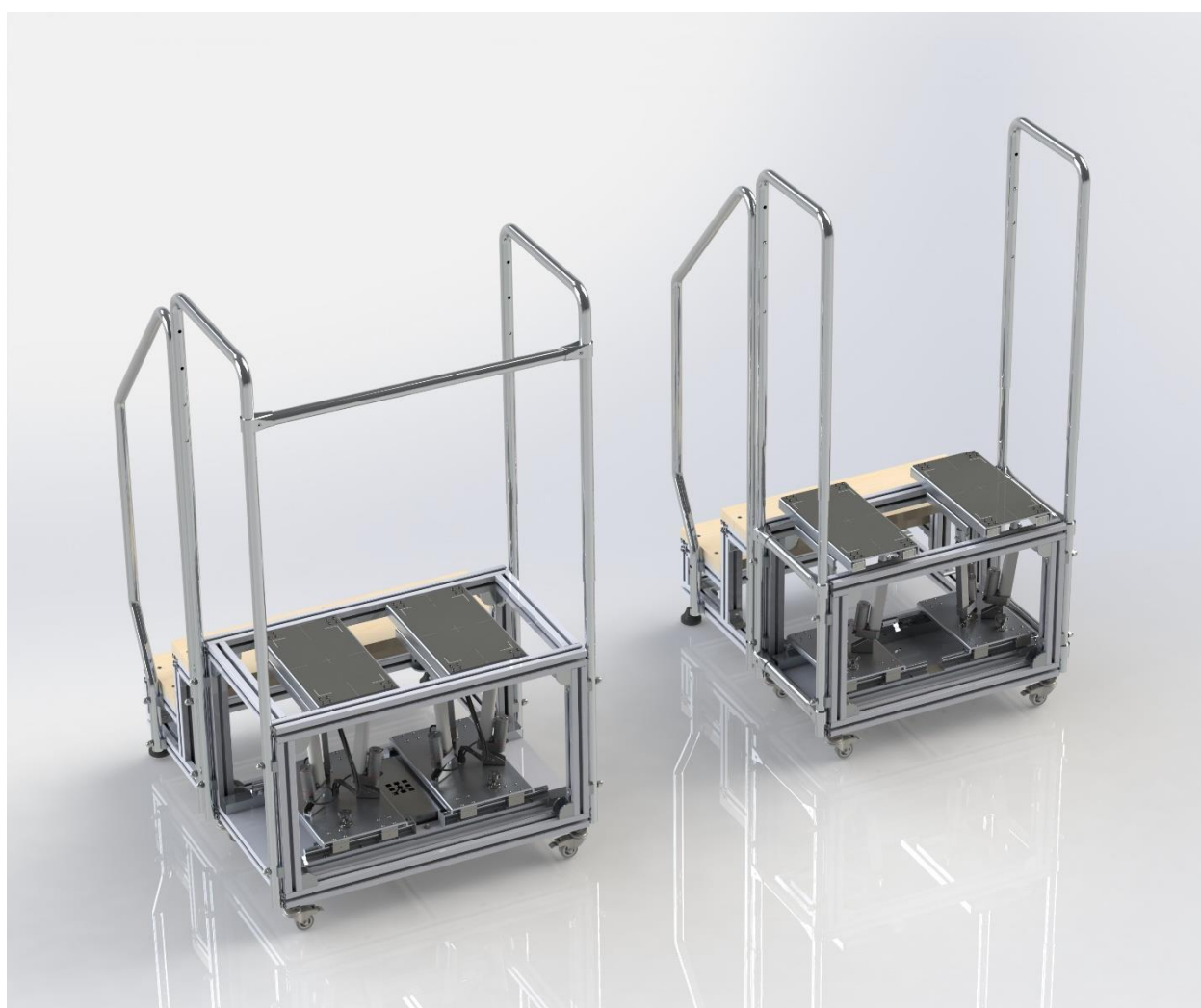
Uređaj se sastoji od dviju platformi od kojih svaka posjeduje četiri mjerna senzora za težinu i tri linearna aktuatora koji služe za podizanje i spuštanje te naginjanje ploče na koju dolazi stopalo. Platforme rade tako da, kada pacijent stane na njih, u određenom vremenskom periodu mjerni senzori bilježe težine na pojedinu platformu. U slučaju da težine nisu jednake, uključuju se linearni aktuatori i podižu određenu platformu dok se težine na obje platforme ne izjednače. U trenutku izjednačenja dobije se tražena razlika. Za nagnutost stopala svaki od triju linearnih aktuatora na kojima se nalazi ploča radi za sebe. Na taj se način dobije stupanj nagnutosti ploče.



Slika 3.2. Način rada platformi

U završnom radu modelirane su dvije verzije prototipa mehaničkog sklopa prikazane na slici 3.3. Druga verzija (na slici uređaj koji se nalazi s desne strane) nastala je s ciljem smanjenja veličine prve verzije sklopa na što je moguće manje dimenzije. U obje verzije korištene su iste komponente prikazane u daljnjem tekstu. Prednosti druge verzije u odnosu na prvu verziju manje su dimenzije uređaja koje automatski smanjuju njegovu težinu i zauzimaju manje mjesta. Još jedna bitna razlika između prve i druge verzije postavljanje je linearnih aktuatora koje je moguće vidjeti na slici 3.3.

Način izrade prve verzije opisan je u nastavku.



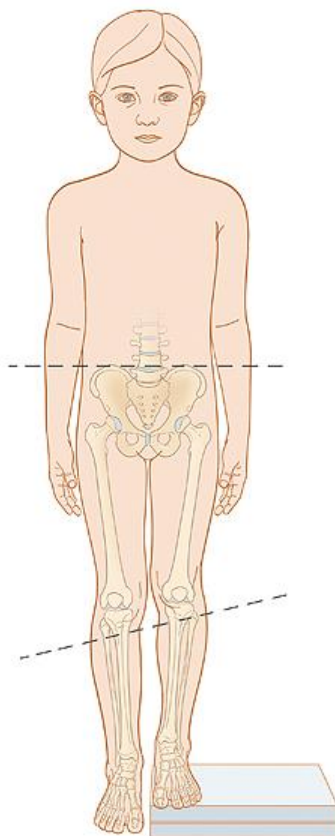
Slika 3.3. Verzija 1 (lijevi uređaj) i verzija 2 (desni uređaj)

3.1. Nesrazmjer u dužini nogu

Nesrazmjer u dužini nogu poznat kao LLD (*engl. leg length discrepancy*) stanje je u kojem je mjerenjem dokazano da je jedna noga kraća od druge. Razlika u dužini nogu može varirati. Što je veća razlika, to su veće mogućnosti da će ona uzrokovati oštećenja u koljenu i križbolju. To su samo neki od problema [2].

Nejednakost u dužini nogu često počne tijekom čovjekova razvoja, bilo to tijekom rođenja, djetinjstva ili adolescencije. U nekim situacijama uzroci se ne mogu prepoznati, ali se u određenim slučajevima mogu identificirati [3].

Razlika u dužini nogu može biti nasljedna, može nastati kao posljedica ozljede ili bolesti koja utječe na rast te nakon prijeloma nožne kosti koji uzrokuje izrast ili smanjenje kosti tijekom zarastanja [4].



Slika 3.4. Razlika u dužini nogu [4]

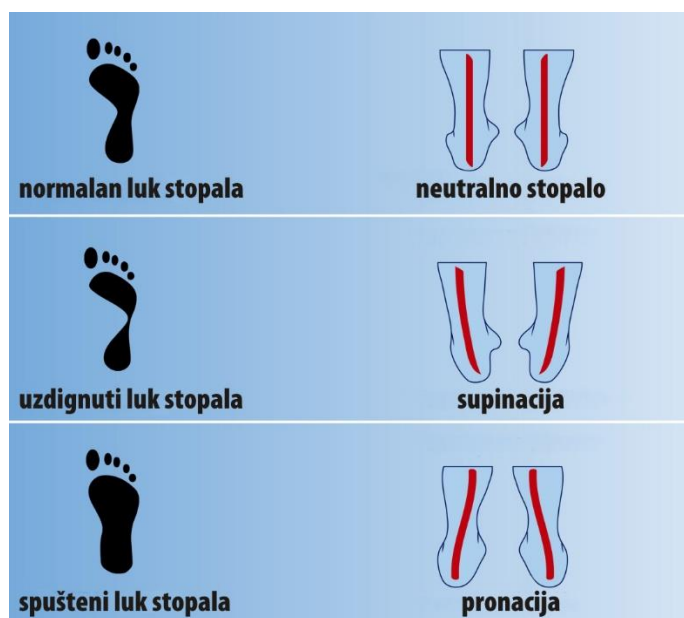
3.2. Supinacija i pronacija

Supinacija, odnosno premala pronacija rijedak je oblik izvrtanja stopala koji nastaje kada se stopalo izvrne prema van i kada težina ljudskoga tijela prelazi na vanjski dio stopala. Kod supinacije može doći do nagnutosti zdjelice unatrag i rotacije koljena prema van. Supinacijsko stopalo ne prilagođava se različitim uvjetima podloge po kojoj se kreće jer je stopalo kruće i ne savija se. Slabija fleksibilnost i manjak apsorpcije šokova može dovesti do biomehaničkih smetnja koje uzrokuju različite probleme po čitavom tijelu.

Trkači sa supinacijom mogu osjetiti bolove u stopalima, koljenima, kukovima, leđima, ramenima i vratu, češće su izloženi uganućima gležnja i ozljedama pete [5].

Pronacija, odnosno prekomjerna pronacija rijedak je oblik izvrtanja stopala koji nastaje kada se stopalo izvrne prema unutra i kada sva težina ljudskoga tijela prelazi na unutarnji dio stopala.

Kod pronacije najviše su opterećeni palac i kažiprst, oni moraju odgurnuti stopalo u sljedeći korak. Može doći i do nagiba zdjelice prema naprijed te rotacije koljena prema unutra. Pronacija može uzrokovati pritisak na mišiće i dodatno opteretiti tetive, javljaju se žuljevi na prstima i povećava se opasnost od upale tetiva [6].



Slika 3.5. Oblici stopala [7]

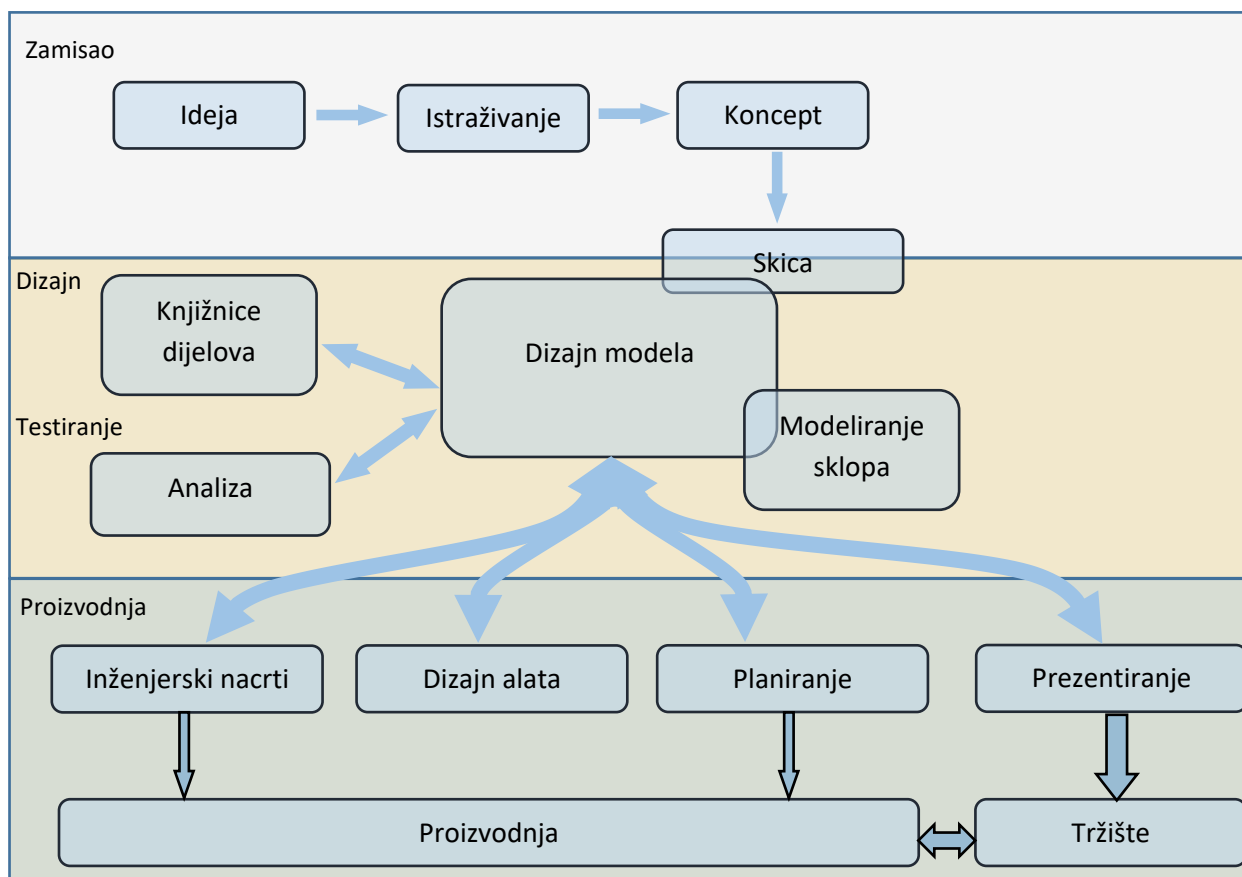
4. MODELIRANJE PODRŽANO RAČUNALOM - CAD

Modeliranje podržano računalom poznat kao CAD (*engl. Computer-aided Design*) označava korištenje računala kroz proces stvaranja dizajna, izrade dokumentacije, simulacije i izvođenja analize. Ova tehnologija omogućuje automatizaciju procesa, povećava produktivnost, kvalitetu dizajna, točnost proračuna i ono najbitnije, smanjuje vrijeme od ideje do izrade gotovoga predmeta.

Sve je to velika prednost u odnosu na prošlost kada su vrijeme crtanja i preciznost ruke igrali odlučujuću ulogu [8].

U današnje vrijeme zbog korištenja programa u svim tehničkim područjima znanje CAD tehnologija neophodno je, a pogotovo u strojarstvu i elektrotehnici. CAD programi opremljeni su s puno naprednih potprograma koji omogućuju brže i učinkovitije rješenje.

Ima li dovoljno znanja, korisnik može modelirati različite predmete u 2D ili 3D obliku, proučiti kako će se taj predmet ponašati u različitim okruženjima i s različitim svojstvima, naći dodatne CAD modele u internetskim bazama te napraviti tehničku dokumentaciju za traženi predmet [8].



Slika 4.1. Tijek CAD procesa [9]

5. PROGRAMSKI ALAT SOLIDWORKS

SolidWorks multiplatformni je CAD/CAE komercijalni softverski program koji izdaje francuska kompanija *Dassault Systemes* najbolje poznata po CATIA CAD/CAM/CAE programskom alatu. Programski alat služi za 2D i 3D modeliranje i izrađen je za operativni sustav Windows. Dostupan je na engleskom jeziku. Prvi programi potječu još iz 1995. godine, a do 2017. izdano je 25 verzija [10].

SolidWorks programski alat ima jednostavno korisničko sučelje koje ima sličnosti s ostalim CAD programskim alatima te tako omogućuje korisnicima, koji već imaju znanja s prijašnjim alatima, lako upravljanje programom [10].

Program se sastoji od triju paketa: *SolidWorks Standarda*; *SolidWorks Professionala*; *SolidWorks Premiuma*. Također postoji i studentska verzija koja je jeftinija od ostalih paketa, iako nema sve dodatke i nije komercijalna. Ona omogućava studentima da stječu potrebna znanja za modeliranje 3D programskim alatima.

Svaki od paketa sadrži dodatke i potprograme koji povećavaju učinkovitost izrade i kvalitetu modeliranja. Jedna je od mogućnosti *PhotoView 360* koji omogućuje renderiranje modela u stvarnom vremenu i spremanje slika.

SolidWorks Motion Study i *SolidWorks Motion* omogućuju simulaciju gibanja sklopova. *SolidWorks ToolBox* opcija je koja u sebi ima već gotove standardne elemente kao što su vijci, matice, zupčanici, klinovi, ležajevi, itd.

SolidWorks Simulation služi za analiziranje sklopova i pojedinih dijelova na koje djeluje sila. Moguće je proučavati i simulirati kako će se predmet ponašati u različitim okruženjima i s različitim svojstvima.

Tu su još *SolidWorks Routing*, *Circuitworks*, *Scan to 3D*, *Tol Analyst* i *SolidWorks Flow Simulation*, a i to su samo neki od alata u SolidWorksu.

U završnom radu korišten je SolidWorks 2012 s dodacima kao što su *Solidworks Motion*, *SolidWorks Simulation*, *SolidWorks Toolbox* i *PhotoView 360*.

6. DIJELOVI PROTOTIPA MEHANIČKOGA SKLOPA

Sastavni su dijelovi prototipa mehaničkoga sklopa:

1. Kućište sklopa i stepenice:

- 1.1 [Sigma aluminijski profili 45x45 mm](#)
- 1.2 [Kutni nosači](#)
- 1.3 [Nivelirajuće nogice](#)
- 1.4 [Nivelirajući kotači](#)
- 1.5 [Aluminijski profili za rukohvate](#)
- 1.6 [Cijevne kutne stezaljke](#)
- 1.7 [Aluminijski kvadratni profili](#)
- 1.8 [Linearne vodilice](#)
- 1.9 [3D printani poklopci](#)
- 1.10 [Gazište](#)
- 1.11 [Razdjelnik za rukohvate](#)
- 1.12 [Push button spring snap clip locking tube pin](#)

2. Platforme za noge:

- 2.1 [Linearni aktuatori](#)
- 2.2 [Nosači za linearne aktuatore](#)
- 2.3 [Kuglasti zglobovi](#)
- 2.4 [Mehaničke spojnice](#)
- 2.5 [Mjerne ćelije za težinu](#)
- 2.6 [Aluminijski plosnati profili](#)
- 2.7 [Aluminijski limovi](#)
- 2.8 [Protuklizne trake](#)
- 2.9 [Linearni kuglični ležaji](#)
- 2.10 [Kočnice za platforme](#)

3. Kućište s elektronikom:

3.1 [Napajanje](#)

3.2 [NI myDAQ](#)

3.3 [Arduino nano](#)

3.4 [Innoesys 4 DAC shield for Arduino](#)

3.5 [A4988 Stepper motor driver module](#)

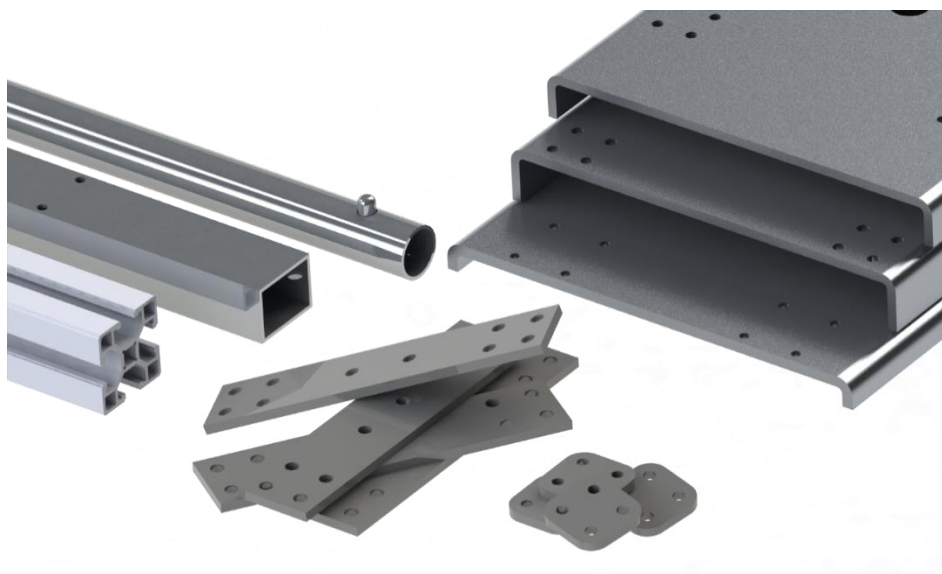
3.6 [Modul za mjernu ćeliju](#)

4. Vijci i matice

6.1. Mehanički dijelovi

Aluminijski profili

Aluminijske legure ili slitine smjese su koje sadržavaju najmanje 50% aluminija dok ostatak čine različite teške ili lake kovine kao što su mangan, nikal, bakar, magnezij, silicij i dr. Aluminijske legure također imaju bolja svojstva od čistoga aluminija. Neke su od osobina mala težina uz znatnu čvrstoću, otpornost prema koroziji i kemijskim utjecajima, sposobnost oblikovanja i lijevanja, sposobnost postizanja visokoga sjaja poliranjem, mogućnost povećanja čvrstoće, žilavosti i tvrdoće. Primjenjuje se u avijaciji, gradnji vozila, brodova, motora, u kemijskoj industriji, za ukrasne predmete i dr [11].

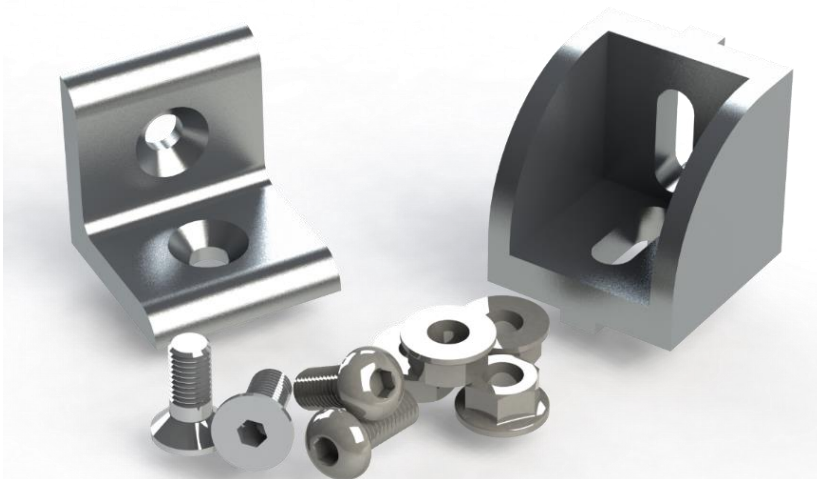


Slika 6.1. Razni aluminijski profili korišteni u prototipu

U prototipu se težilo da što više dijelova bude od obojenih metala tako da su korišteni razni aluminijski profili od kojih su neki prikazani na slici 6.1. Za kućište sklopa korišteni su sigma profili i kvadratne cijevi, za rukohvate su korištene šuplje aluminijske cijevi dok su za platforme i kućište od elektronike korišteni aluminijski limovi raznih debljina. S obzirom da ćelije za težinu moraju imati odstupanja od površine s kojom su u kontaktu, koriste se profili koji služe kao razdjelnici. Profili su standardni, a dimenzije su uzete iz postojećih profila koje proizvodi tvrtka Strojopromet u Zagrebu. U prilogu su prikazani [Strojoprometovi](#) katalozi za obojene metale.

Nosači

Nosači prikazani na slici 6.2. služe za međusobno povezivanje sigma aluminijskih profila. U sklopu su korištene dvije vrste kutnih nosača prikazane na slici. Manji nosači izrađeni su od aluminijskog aluminija i služe za pozicioniranje te nisu namijenjeni za velika opterećenja. S obzirom da ne zauzimaju puno prostora, zamjenjuju veće nosače na dijelovima stepenica gdje ne djeluju velike sile.



Slika 6.2. Kutni nosači

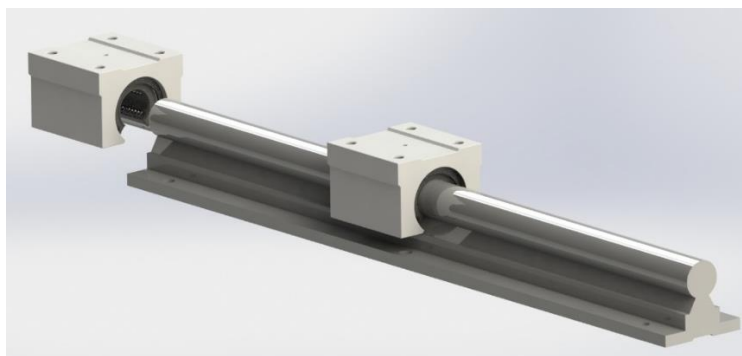
Montažni nosači za linearne aktuator prikazani na slici 6.3. omogućuju rotaciju oko jedne osi i dizajnirani su da se koriste kao dodatni oslonac za pogone ili kao alternativni izbor za montažu. Nosači odgovaraju dužini osovine aktuatora omogućujući postavljanje aktuatora u manje prostore.



Slika 6.3. Nosač za linearni aktuator

Linearni ležaji i vodilice

Linearni sustavi predstavljaju pojedinačne komponente ili sastavljene sklopove koji omogućuju pretvorbu kružnog gibanja u pravocrtno. Klizni ležaj je ležaj koji omogućuje vođenje pokretnih strojnih dijelova (osovina, vratilo) i prijenos opterećenja s rukavca osovine ili vratila na blazinicu ležaja. U prototipu su korišteni SBR 16-uu kuglični ležaji statičke nosivosti 1180 N.

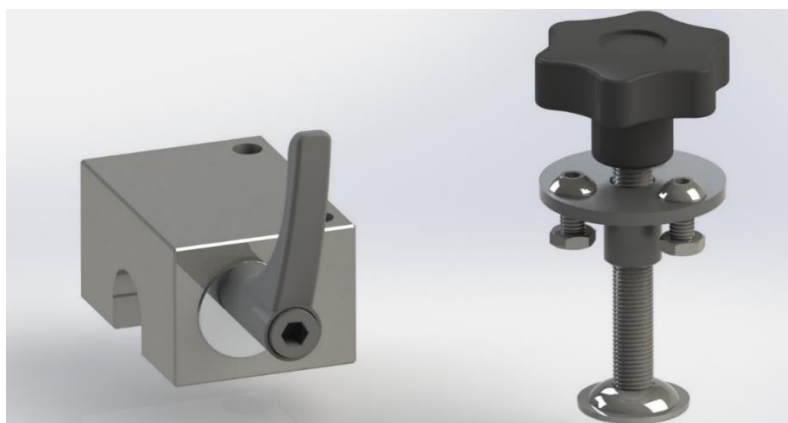


Slika 6.4. SBR ležaj i vodilica

Kočnice za platforme

Na slici 6.5. pod a) prikazana je standardna linearna stezaljka koja se postavlja do linearnih kugličnih ležaja duž osovine. Rotirajući ručicu dolazi se do kontakta i stezanja linearne stezaljke s osovnom, podupirući sile do 2000 N. Druga verzija, prikazana na slici b), koristi T-maticu i vijak s ručkom koji rotirajući dolazi u kontakt sa statičnom površinom, što uzrokuje kočenje platforme.

Druga verzija nastala je zbog toga što, iako je linearna stezaljka namijenjena za tu svrhu, nije lako nabavljiva. Zato je kao jednostavno rješenje za stabilizaciju platformi modelirana druga verzija s lakše nabavljivim dijelovima.



Slika 6.5. Kočnice za platforme; a) verzija 1; b) verzija 2

Kuglasti zglob

Kuglasti zglob koristi se za omogućavanje slobodnog kretanja u dvije ravnine istovremeno, uključujući rotiranje u tim ravninama. Kombinacijom takvih dvaju zglobova omogućava se kretanje u svim trima ravninama. Najviše se koristi u automobilima, a služi za povezivanje *control arm* s upravljačkim zglobom (*steering knuckle*) [12].

U prototipu je korišten kuglasti zglob tipa C, nalazi se na gornjem dijelu platforme i pomoću njega možemo postići željenu kosinu platformi.

Izrađuje se od čelika, a postoje sljedeće verzije;

- Tip **CS**: Ima navoj i sigurnosni klin
- Tip **C**: Ima navoj bez sigurnosnog klina
- Tip **BS**: Bez navoja sa sigurnosnim klinom
- Tip **B**: Bez navoja i bez sigurnosnoga klina

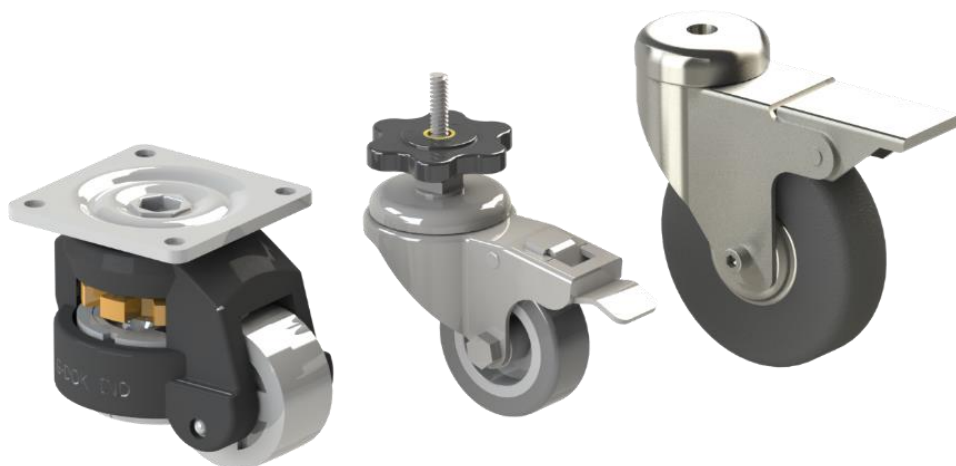


Slika 6.6. Kuglasti zglob tip C, M8

U privitku su prikazane tri slike kataloga njemačke tvrtke [mbo®](#) s različitim verzijama i dimenzijama kuglastog zgloba.

Kotači i nivelirajuće nožice

Težina mehaničkoga sklopa prelazi 40 kg što onemogućuje lako prenošenje, zato se koriste kotači za jednostavan transport. Na slici 6.7. prikazane su tri vrste kotača korištene u prototipu. Svaki kotač ima svoje prednosti i mane. Prvi kotač ima mogućnost niveliranja i nosivost do 250 kg po kotaču, ali ima veću cijenu. Drugi kotač također ima mogućnost niveliranja, ali je jeftiniji, a nosivost iznosi 50 kg po kotaču. Treći kotači jeftiniji su i nosivosti 80 kg po kotaču, ali su krupniji i nemaju mogućnost niveliranja.



Slika 6.7. Vrste kočnica

Stepenice nemaju veliku nosivost pa se za nosače koriste nivelirajuće nožice nosivosti 50 kg. One predstavljaju kontakt između uređaja i poda. Postoji mogućnost prilagodbe podlozi na koju se uređaj prislanja.



Slika 6.8. Nivelirajuće nožice

Cijevne kutne stezaljke

Kutne aluminijske stezaljke koriste se za spajanje kružnih profila pod kutom od 90°C. Nalaze se na gornjem dijelu rukohvata, a služe za spajanje rukohvata s prednjom ogradom.



Slika 6.9. Cijevne kutne stezaljke promjera 32 mm

Vijci i matice

Vijak je strojni dio za rastavljivo spajanje dijelova. Vijčani spojevi najčešće su korištena vrsta rastavljivih spojeva. Glavni su dijelovi vijčanog spoja: vijak koji ima izrađen vanjski navoj; matica koja ima izrađen unutarnji navoj; podložak ili podložna pločica i osigurač po potrebi.[13]

Vijci korišteni u prototipu standardni su metrički vijci: DIN 912/8.8, DIN 7984/8.8, ISO 7380/10.9, DIN 603/4.6.

Formule i podatci izvučeni su iz strojarskoga priručnika „Elementi strojeva – Karl-Heinz Decker, Golden marketing - Tehnička knjiga, Zagreb; 2006.“



Slika 6.10. Standardni metrički vijci korišteni u radu

Mehaničke spojnice

Spojnice su elementi koji se koriste za spajanje krajeva dvaju vratila u jednu cjelinu. Iako se na tržištu mogu naći spojnice različitih dimenzija, u sklopu treba spojiti vratilo linearnog aktuatora promjera 20 mm i kuglasti zglobov promjera 8 mm u čvrsti spoj. Takve prijelaze teže je naći na tržištu pa je kao jedno rješenje modelirana spojka koja ima unutarnji navoj kod manjega promjera rupe, a kod velikog promjera okomito je smještena rupa koja je istih dimenzija kao i utor linearnog aktuatora. Jedna varijanta koristi unutarnji navoj za spoj s kuglastim zglobovom, dok druga varijanta koristi uvrnuti vijak postavljen okomito na rupu.



Slika 6.11. Mehaničke spojnice

Razdjelnik za rukohvate



Slika 6.12. Tipovi razdjelnika

Push button spring snap clip locking tube pin



Slika 6.13. Pin clip - 9 mm

Gazište



Slika 6.14. Drveno gazište

3D printani poklopci



Slika 6.15. 3D printani poklopci (estetski dodatak)

6.2. Elektronika

Linearni aktuator

Aktuator je mehanički uređaj koji pomiče ili upravlja nečim [14]. Služi za pretvaranje energije u kretanje. Obično je to mehanički uređaj koji uzima energiju koja može biti energija tekućine zraka ili električna energija i pretvara ju u neku vrstu gibanja. Aktuator može biti pneumatski, hidraulični ili električni uređaj koji upravlja tokom materijala ili energije [14].

Linearni aktuator mehanička je uređaj koji električnu energiju pretvara u linearnu vrstu gibanja.

U prototipu je korišten linearni aktuator prikazan na slici 6.16. sa sljedećim specifikacijama:

Ulazni napon: 12 V

Dužina hoda: 150 mm

Dužina kabela: 1,5 m

Max. snaga guranja: 1500 N

Max. vučna snaga: 1200 N

Brzina: 5,7 mm/s

Radni ciklus: 25%

Radna frekvencija: 20%

Radna temperatura: -26 °C ~ +65 °C

Struja bez opterećenja: < 0,5 A

Struja max. opterećenja: 3 A



Slika 6.16. Linearni aktuator

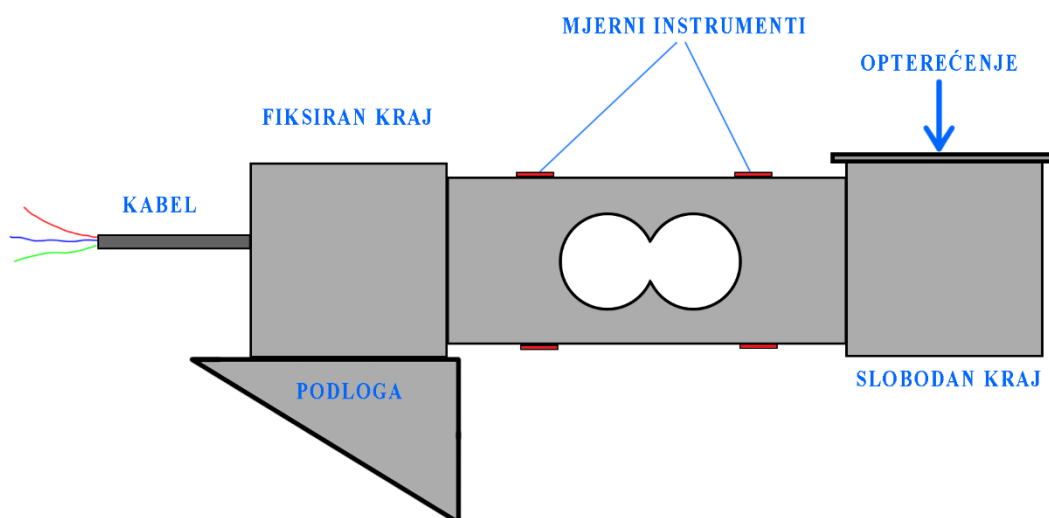
Mjerna ćelija za težinu

Mjerne ćelije su transduktori koji se koriste za stvaranje električnih signala čija je magnituda izravno proporcionalna sili koja se mjeri [15].

Mjerne ćelije s jednom točkom koriste se zasebno u vagama, kod vaganja na transportnoj traci, u kontrolnim vagama te u strojevima za parkiranje. Mjerna ćelija s jednom točkom nije osjetljiva na pomicanje. Omogućava ekscentrično opterećenje i pojednostavljuje dizajn sustava za vaganje zbog toga što može podnijeti sve sile i pomicanja tako da u tom trenutku ne dođe do smanjenja učinkovitosti. Radi na način da se jedna strana pričvrsti vijcima za statičnu donju podlogu, a na drugu stranu pričvrsti se ploča na koju kasnije dolazi teret [16].



Slika 6.17. Mjerna ćelija nosivosti 150 kg



Slika 6.18. Mjerna ćelija- način rada

NI myDAQ

National Instruments NI myDAQ dizajniran je da pruži studentima mogućnost rješavanja inženjerskih problema eksperimentima s projektom u rukama bilo gdje i bilo kad. NI myDAQ je visokokvalitetni instrumentalni uređaj koji daje studentima mogućnost da izrade prototip i testiraju električne krugove izvan učionice uz poboljšanje razumijevanja i kontinuiranog poboljšanja znanja [17].

Uređaj ima osam općezajednički korištenih *plug-and-play* računalno baziranih laboratorijskih instrumenata. S NI myDAQ-om računalno postaje inženjerski instrument.

Sposobnosti uređaja možemo povećati pomoću LabVIEW i Multisim. Uređaj tada provjerava rješenja zadataka sa stvarnim signalima koristeći Multisim za simulaciju kruga i LabVIEW za automatizaciju mjera i obradu signala [17].



Slika 6.19. NI myDAQ

Arduino nano

Arduino je ime za otvorenu računarsku i softversku platformu kojim dizajneri i konstruktori stvaraju uređaje koji omogućavaju spajanje računala s fizičkim svijetom [18].

Arduino nano je mala, potpuna ploča koja se temelji na ATmega328 mikrokontroleru.

Specifikacije:

Radni napon: 5 V

Flash memorija: 32 KB

SRAM: 2KB

Radni takt: 16 MHz

Analogni I/O pinovi: 8

EEPROM: 1 KB

DC struja po I/O pinu: 40 mA

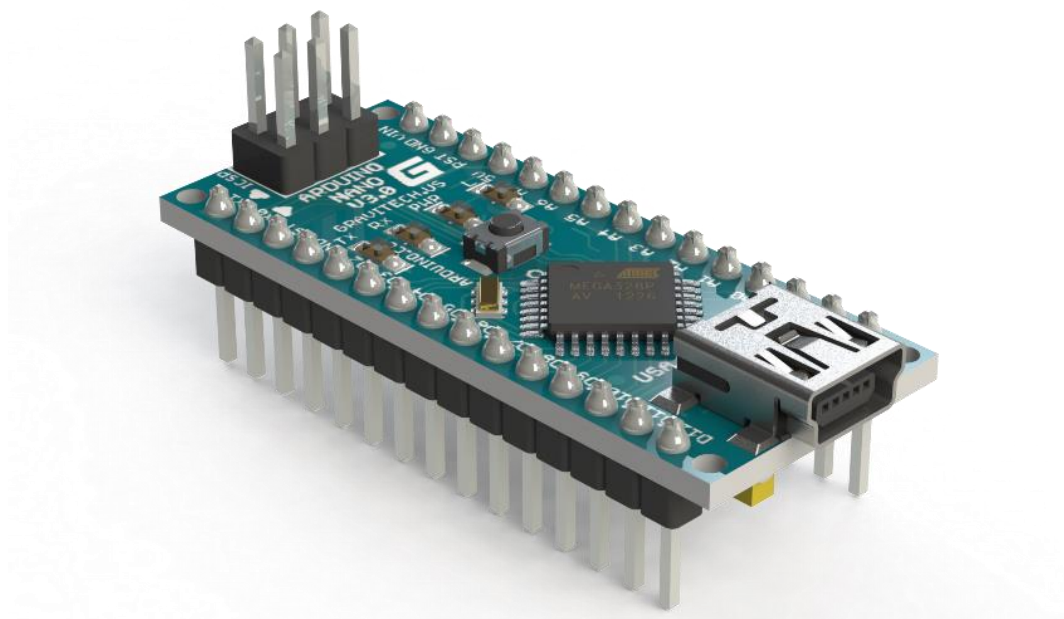
Ulazni napon: 7-12 V

Digitalni I/O pinovi: 22

PWM izlaz : 6

Potrošnja struje: 19 mA

PBC veličina: 18x45 mm



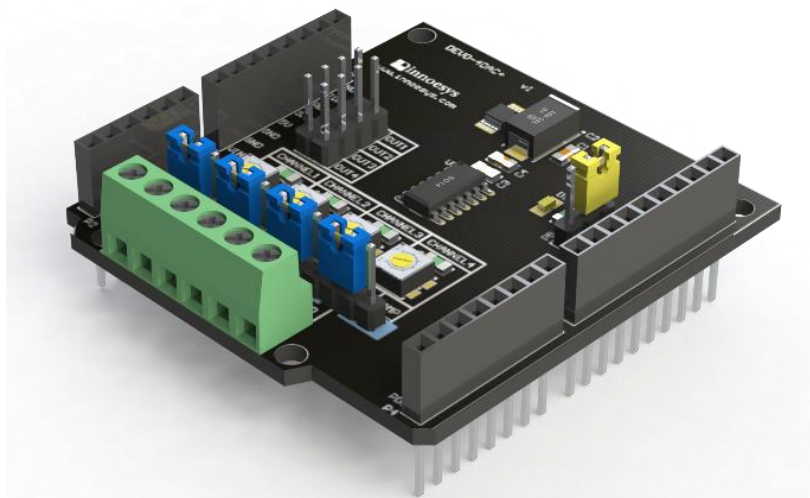
Slika 6.20. Arduino nano

Innoesys 4 DAC shield for Arduino

Shields su ploče koje mogu biti priključene na Arduino povećavajući njegove sposobnosti [19].

DEVO-4DAC je Arduino *shield* temeljen na MCP4728 12-bit, *quad channel* DAC i pruža četiri analogna *buffered* ili *un-buffered* izlaza [19].

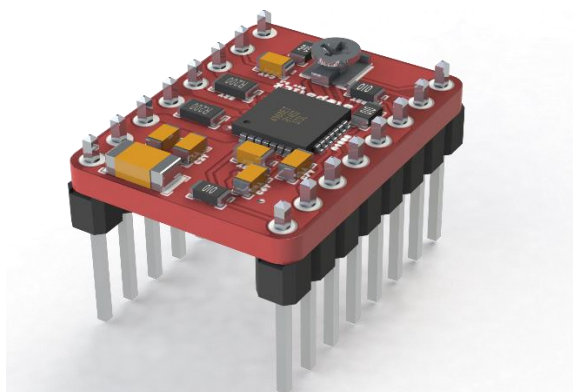
Svaki izlaz sposoban je pružiti rad od 15mA bez buffer ili 40mA kad radi s buffer strujnim krugom. Svaki izlaz može biti zasebno konfiguriran da radi u buffered ili un-buffered stanju dok se napon podešava pomoću potenciometra od 1 do 11 [19].



Slika 6.21. Innoesys 4 DAC

A4988 Stepper motor driver module

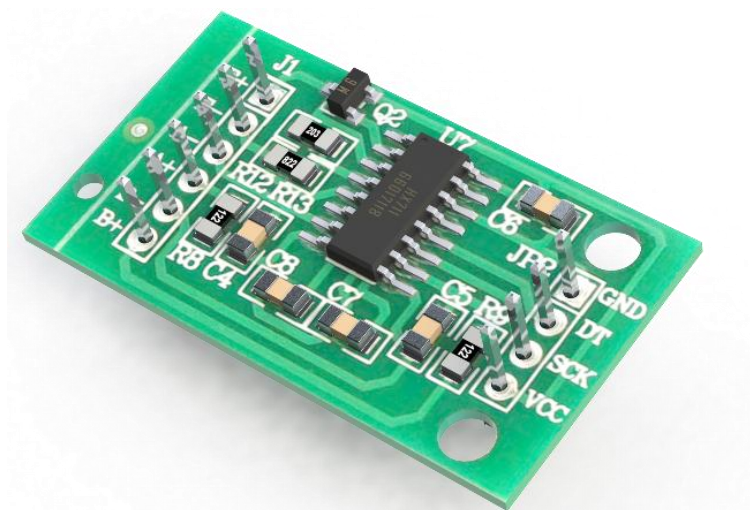
A4988 modul je drajver koji služi za jednostavno kontroliranje motora. Modul pruža pet različitih koraka: puni korak, polovinu koraka, četvrtinu koraka, osminu koraka i šesnaestinu koraka. Također posjeduje potenciometar za podešavanje struje na izlazu [20].



Slika 6.22. A4988 modul

Modul za mjernu ćeliju

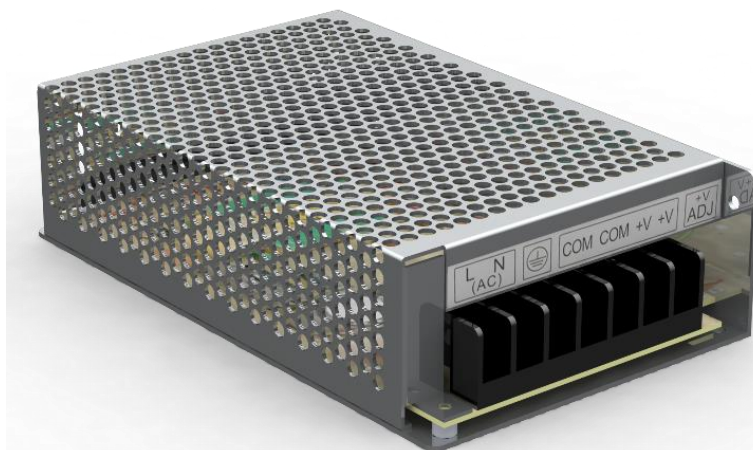
Ovaj modul koristi precizni 24 bitni A/D pretvornik HX711 koji je dizajniran za visoku preciznost elektroničke skale s dvama analognim ulaznim kanalima. Ulazni krug može biti konfiguriran da omogući voltažni električni most [21].



Slika 6.23. Modul za mjernu ćeliju

Napajanje 12V-5A

Napajanje je hardverski dio koji uređaju daje napon i struju. Napajanje osigurava da svaki dio uređaja dobije onoliku količinu energije kolika mu je potrebna, jer svaka komponenta u uređaju troši različitu količinu električne energije. Glavni je zadatak napajanja da pretvori 220V u zadani napon napajanja, koji u ovome slučaju iznosi 12V [22].



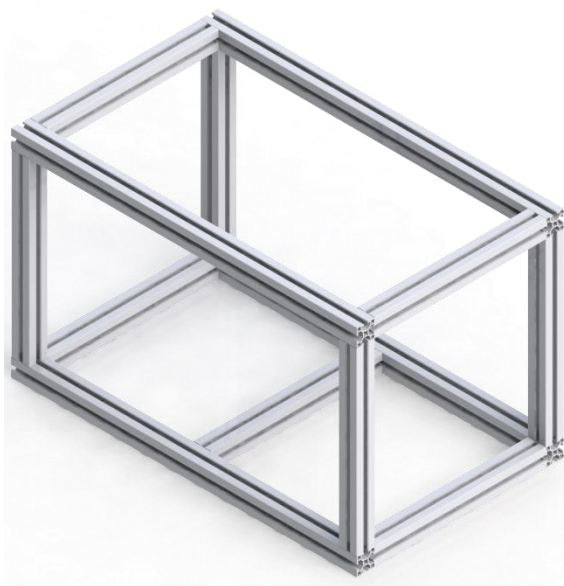
Slika 6.24. Napajanje 12V-5A

7. IZRADA 3D MODELA MEHANIČKOGA SKLOPA

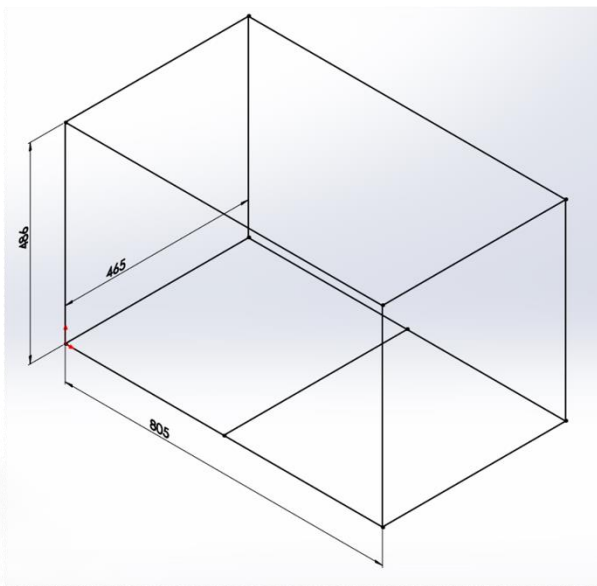
7.1. Modeliranje dijelova

Prvi je dio mehaničkoga sklopa kućište prikazano na slici 7.1. izrađeno od aluminijskih sigma profila dimenzija 45x45 mm. Radi učinkovitije i brže izrade kvadratne konstrukcije korištena je opcija *Weldments*. Iako opcija nije originalno namijenjena za ovu svrhu, znatno olakšava i vremenski smanjuje izradu konstrukcije, dok bi, na primjer, korištenje *Assembly* opcije bilo zahtjevnije jer se najprije moraju izraditi sigma profili različitih dužina, a zatim pojedinačno spajati opcijom *Mate* da bi se dobila željena konstrukcija.




U daljnjem tekstu kratko je opisano modeliranje pojedinih dijelova.




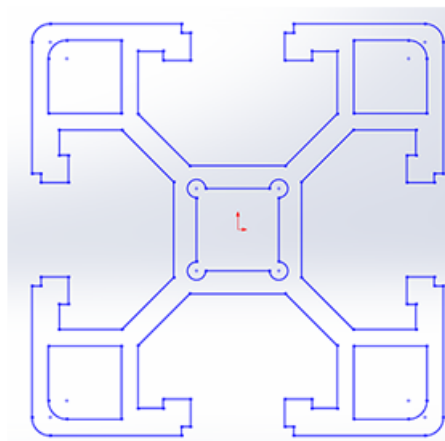
Slika 7.1. 3D model kućišta



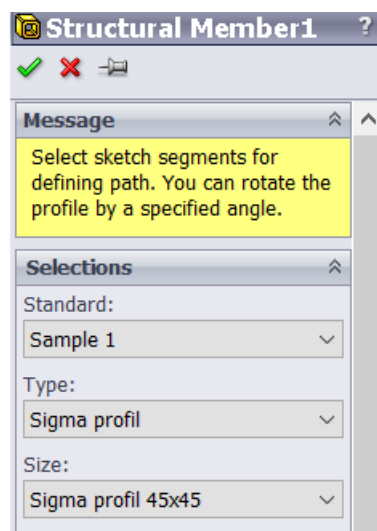
Slika 7.2. 3D crtež kućišta

U programskom alatu SolidWorks otvara se novi *Part* , nakon čega se opcijom *3D Sketch*  nacrtat konstrukcija prikazana na slici 7.2.. Na alatnoj traci ulazi se u opciju *Weldments/Structural member*  i odabire se željeni profil. SolidWorks u svojoj bazi ima različite već gotove profile kao što su kvadratni profili, pravokutni profili, C profili, itd. S obzirom da u opciji ne postoji sigma profil, mora se najprije nacrtati, a zatim spremiti u određenu mapu kamo su spremljeni i ostali profili.

Na slici 7.3. prikazan je sigma profil kao *2D Sketch*  koji se sprema u sljedeću mapu; *Local Disk (C:)/ Program Files/ SolidWorks Corp/ SolidWorks/ lang/ english/ weldments profiles*, gdje se stvara nova mapa pod nazivom „Sigma profil“. Sketch se spremi u obliku datoteke s ekstenzijom *.sldlfp. Nakon spremljene datoteke u opciji *Structural member* može se odabrati željeni profil prikazan na slici 7.4.

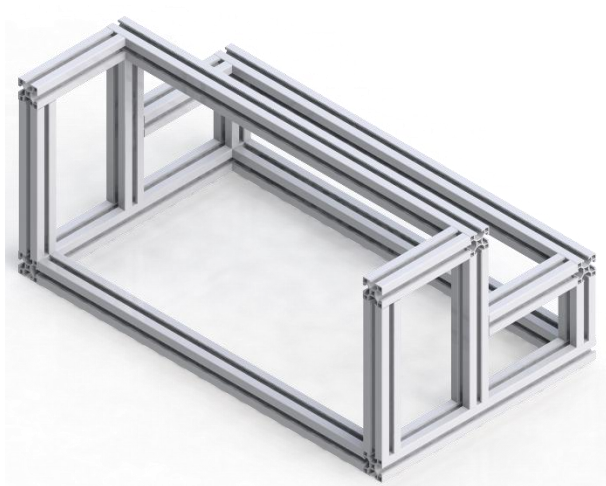


Slika 7.3. 2D crtež profila

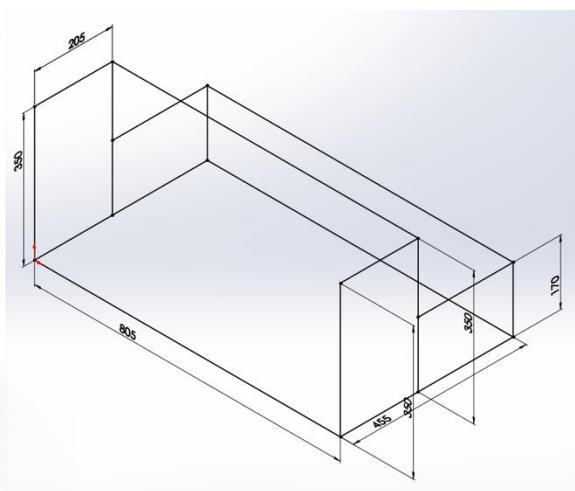


Slika 7.4. Opcija za odabir profila

Stepenice sklopa prikazane na slici 7.5. modelirane su na isti način, koriste iste sigma profile. Jedina je razlika konstrukcija u *3D Sketchu*.



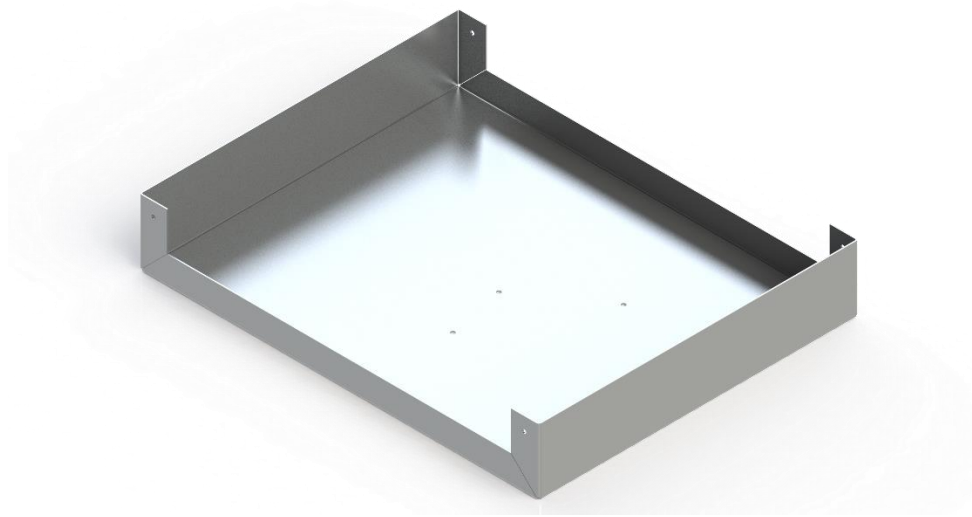
Slika 7.5. Model stepenica




Slika 7.6. 3D crtež stepenica

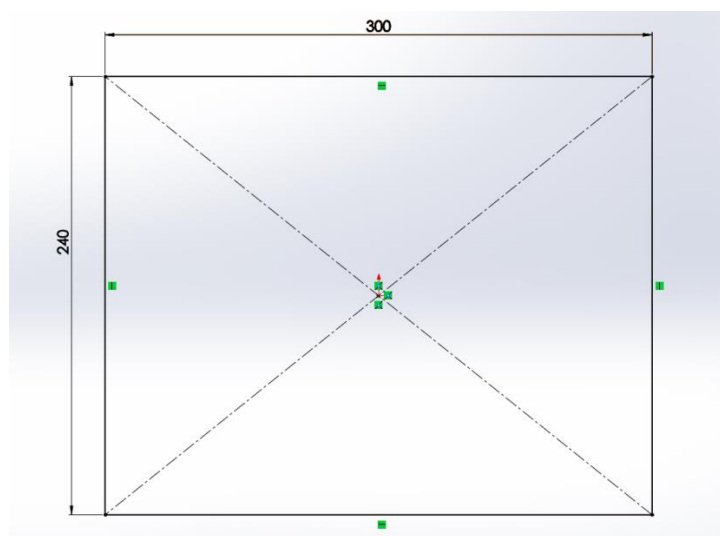
Opcija *Sheet Metal* sadrži alate pomoću kojih je moguće modelirati savijene limove. Savijanjem aluminijskih limova ojačava se konstrukcija elementa, a koristi se na dijelovima prototipa gdje djeluju velike sile. Kod modeliranja mehaničkog sklopa opcija *Sheet Metal* koristila se za izradu limova koji su savijeni, kao što su donja ploča platforme, srednja ploča platforme i gornja ploča platforme. Kućište za elektroniku također je izrađeno pomoću opcije *Sheet Metal*, a sastoji se od kućišta i poklopca.

U nastavku je prikazan kratak postupak modeliranja kućišta za elektroniku (slika 7.7.).




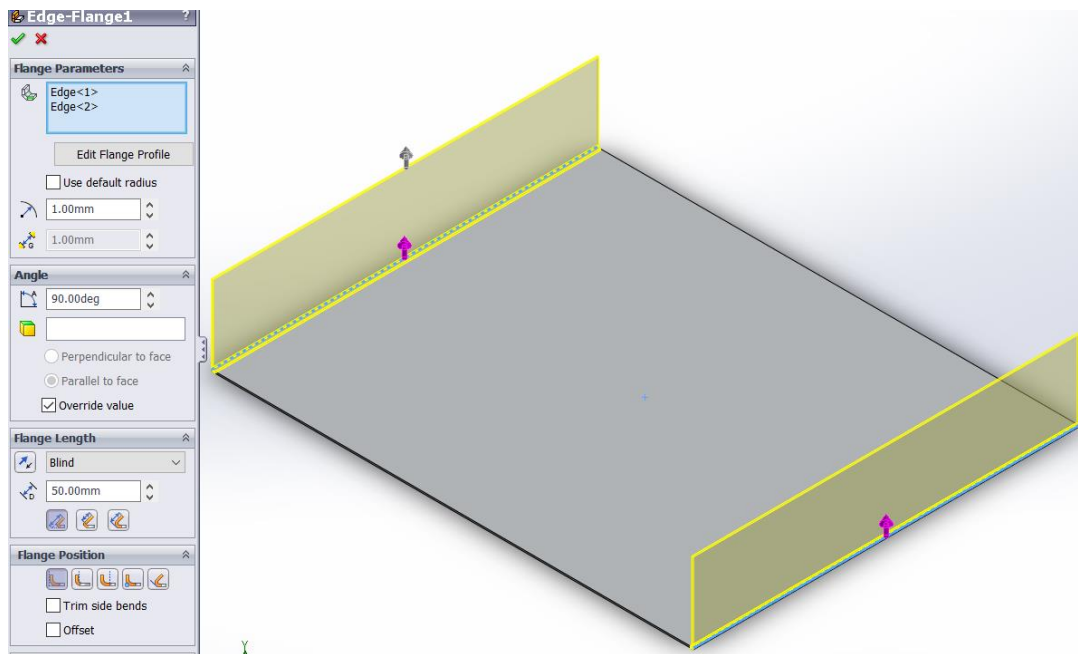
Slika 7.7. Kućište za elektroniku

U programskom alatu SolidWorks otvara se novi *Part*, zatim se ulazi u opciju *Sheet Metal/ Base Flange/Tab*  i odabire se željena ravnina za *Sketch*. U *Sketchu* se crta kvadrat prikazan na slici 7.8. i izlaskom iz *Sketcha* odabire se željena debljina koja u ovom slučaju iznosi 1 mm.






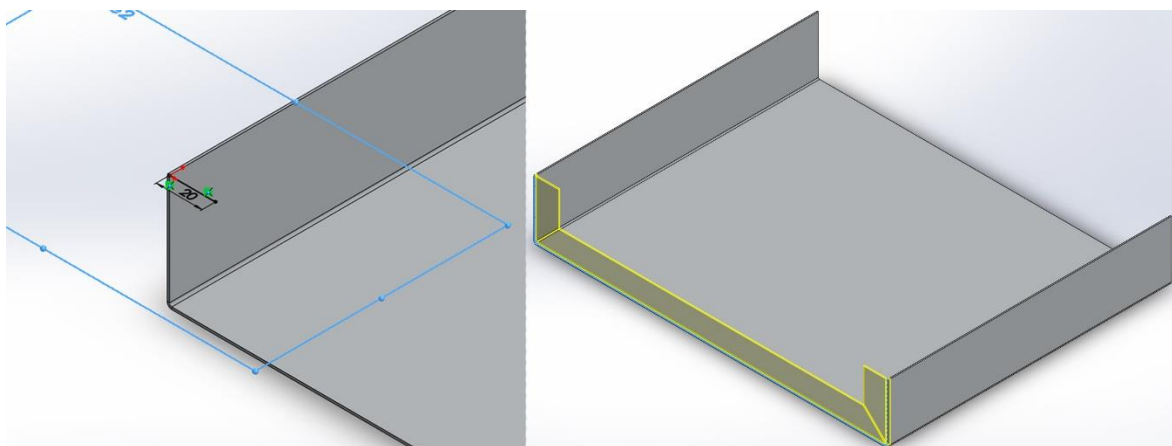
Slika 7.8. *Sketch* podloge kućišta

Slijedi modeliranje krakova, ulazi se u opciju *Sheet Metal/ Edge Flange*  pomoću koje se izvlači lim pod određenim kutom. Označe se željene ravnine i upisuju se zadani podaci prikazani na slici 7.9.



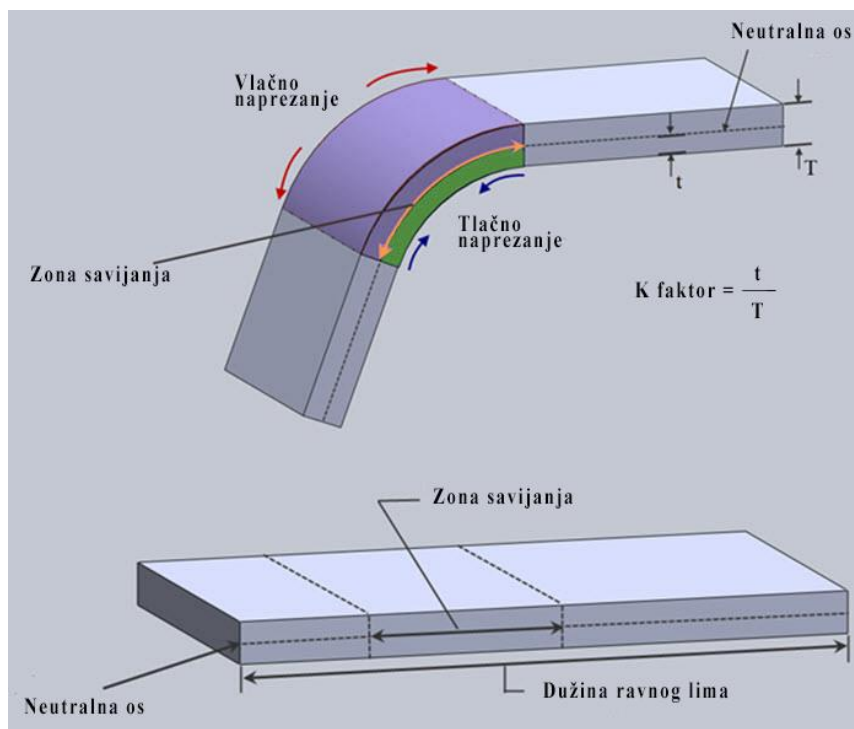
Slika 7.9. Korištenje opcije *Edge Flange*

Treća opcija *Sheet Metal/ Miter Flange*  služi za dodavanje niza prirubnica s jednim ili više rubova limenog dijela. Za nju treba predefinirati ravninu za *Sketch* koja se napravi pomoću opcije *Features/ Reference Geometry/ Plane* . Slijedi crtanje linije u *Sketchu* dužine 20 mm, prikazane na slici 7.10., upisuju se podaci i ponavlja se postupak za drugu stranu. Na samom kraju dodaju se rupe za vijke pomoću opcije *Sheet Metal/ Extruded Cut* .




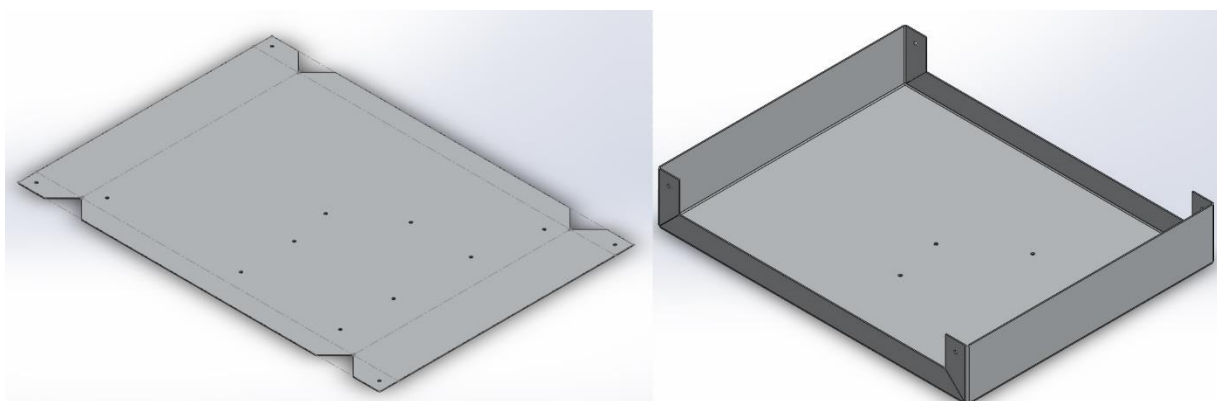
Slika 7.10. Korištenje opcije *Miter Flange*

Proces savijanja karakteriziraju elastično-plastične deformacije. Ove deformacije imaju različito djelovanje sa svake strane lima koji se savija. Unutarnja strana materijala koji se savija izložena je pritisku, dok je vanjska strana izložena rastezanju. Između ovih dvaju slojeva nalazi se neutralan sloj, takozvana neutralna linija čija se dužina tijekom savijanja u odnosu na prvobitnu ne mijenja. Poznavanje položaja neutralne osi važno je zbog određivanja početnih dimenzija komada prije savijanja i nekih dodatnih elemenata savijanja. K faktor omjer je neutralne osi i debljine materijala i pomoću njega određuje se razvijena dužina lima u SolidWorksu [23].



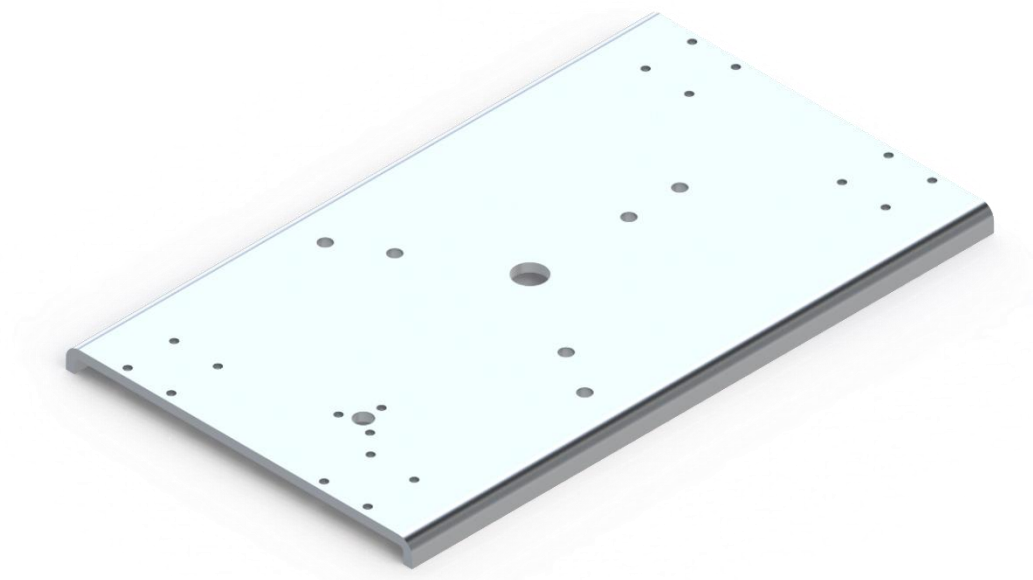
Slika 7.11. Savijanje lima

Modul *Sheet Metal* ima opciju pod nazivom *Flatten*  pomoću koje se može izravnati postojeći savijeni lim i mogu se prikazati stvarne dimenzije lima prije savijanja.



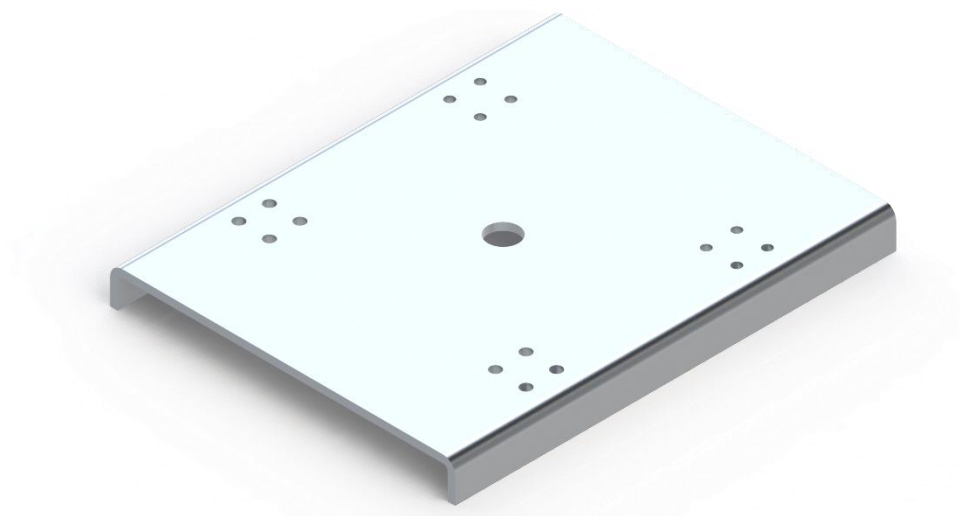
Slika 7.12. Model u izravnom i savijenom stanju

Na isti način modelirani su i ostali elementi mehaničkoga sklopa. U nastavku su prikazani svi elementi izrađeni pomoću opcije *Sheet Metal*. Donja desna ploča za platforme prikazana na slici 7.13. nalazi se u donjem dijelu platforme, a spaja linearne kuglične ležaje, nosače za linearne aktuatore i kočnicu.



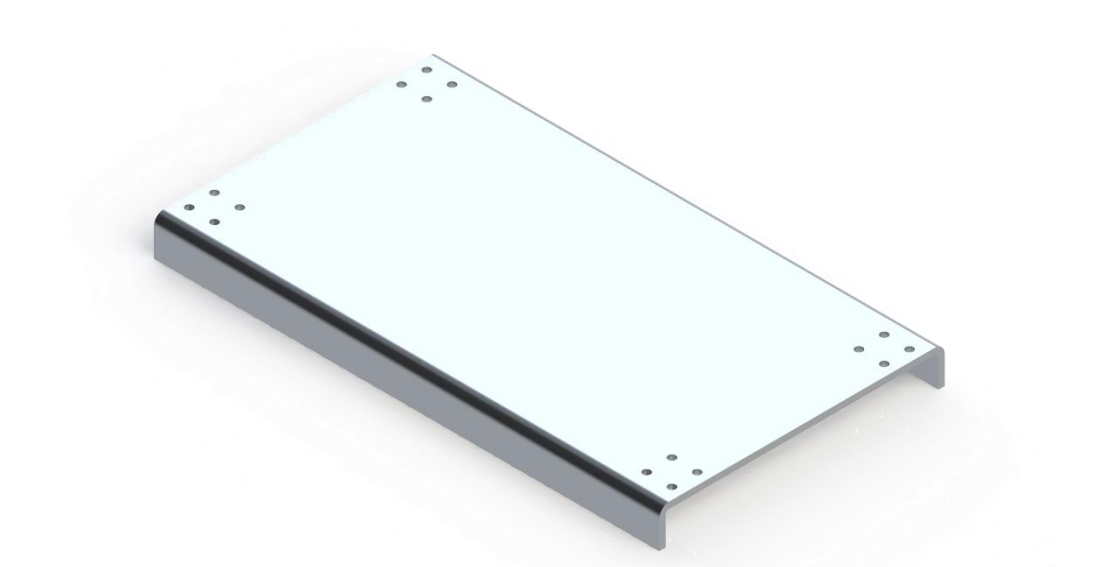
Slika 7.13. Donja desna ploča za platforme

Srednja ploča za platforme nalazi se između gornjeg dijela aktuatora i mjernih ćelija, s donje je strane povezana varom sa šesterokutnim profilom, a s gornje mjernim ćelijama.



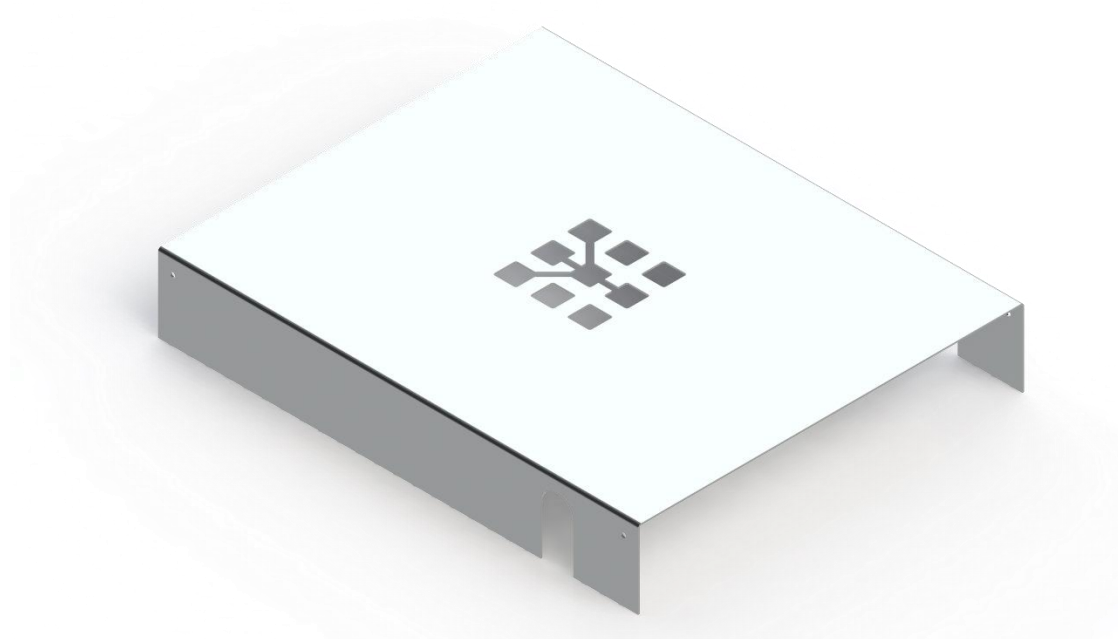
Slika 7.14. Srednja ploča za platforme

Gornja ploča za platforme nalazi se na samom vrhu platforme i na nju dolazi stopalo. Vijčano je spojena s mjernim ćelijama, a poviše dolazi protuklizna traka.




Slika 7.15. Gornja ploča za platforme

Zadnji element izrađen pomoću opcije *Sheet Metal* poklopac je kućišta za elektroniku prikazan ranije u tekstu.




Slika 7.16. Poklopac kućišta za elektroniku




7.2. Spajanje elemenata u sklop

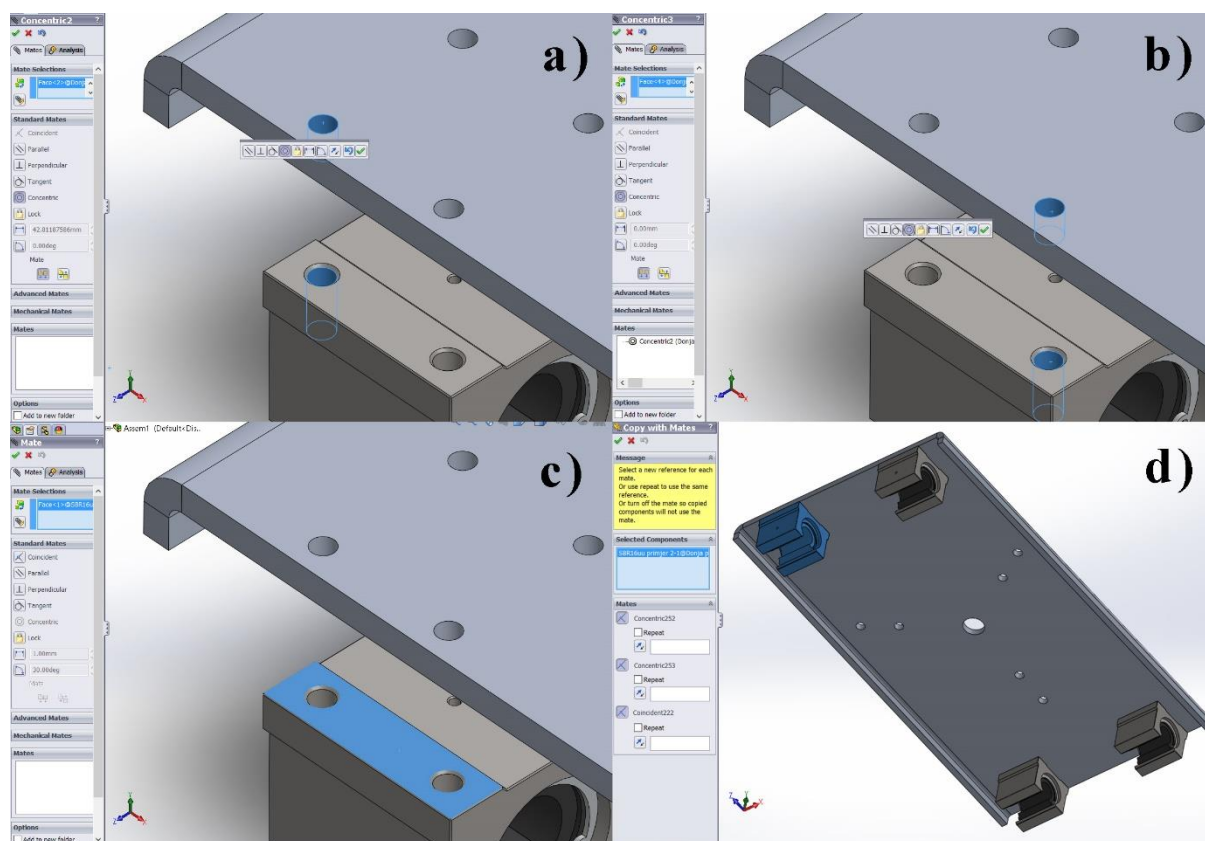
Da bi se dobio gotov mehanizam, treba sve prethodno modelirane elemente spojiti u jedan sklop. To se postiže pomoću opcije *Assembly*  koja omogućuje ubacivanje pojedinih elemenata i spajanje u veći sklop, ali također omogućuje i modeliranje novih dijelova u samom sklopu. U daljnjem tekstu kratko je opisano i prikazano spajanje platformi prikazanih na slici 7.17.



Slika 7.17. Sklop lijeve i desne platforme

U programskom alatu SolidWorks odabire se novi *Assembly*. Ulazi se u modul *Assembly/ Insert Component*  i opcijom *Browse..* traže se komponente za sklop. Nakon što se ubace sve komponente, u stablu se desnim klikom na donju podlogu za platforme odabire opcija *Fix* koja usidri element i tako omogućava jednostavnije spajanje. Svaki element u *Assemblyju* može se fiksirati opcijom *Fix*, dok se opcijom *Float* element stavlja u mobilno stanje koje omogućuje manipulaciju tim dijelom.

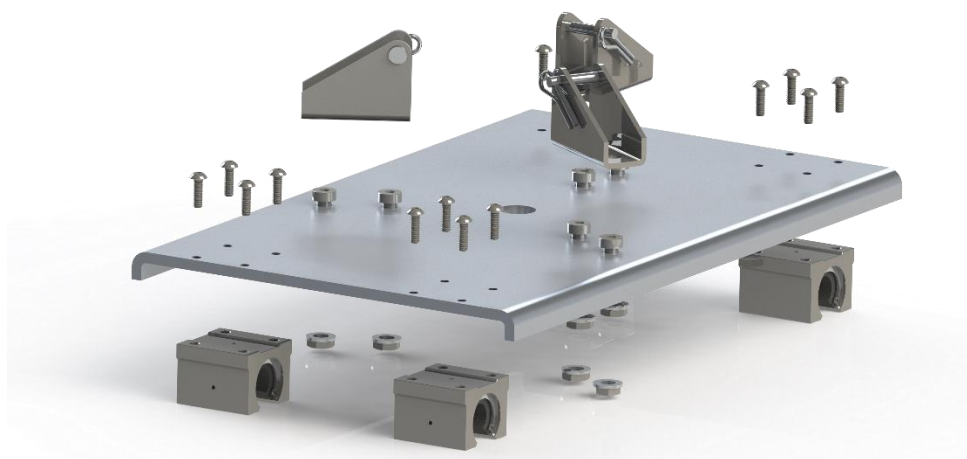
Elementi u *Assemblyju* spajaju se opcijom *Mate*  koja nudi razne mogućnosti spajanja elemenata kao što su standardne mogućnosti spajanja, napredne mogućnosti spajanja i mehaničke mogućnosti spajanja. Na slici 7.18. prikazano je spajanje linearnih ležaja s donjom pločom platforme. Najprije je u standardnim mogućnostima spajanja odabrana opcija *Concentric*  koja služi za centriranje kružnih površina, slika 7.18. pod a) i b) prikazuje odabir površina. Na slici pod 7.18. pod c) opcijom *Coincident*  međusobno se spajaju ravne površine. Zadnja opcija *Copy with Mates* korištena na slici 7.18. pod d) služi za kopiranje elemenata sa spojevima već definiranim u prijašnjim slikama pod a), b) i c). Ova opcija omogućava brže i efikasnije spajanje istih komponenti, tako da ne treba ubacivati iste komponente i spajati ih posebno jednu po jednu.



Slika 7.18. Princip spajanja elemenata u sklop

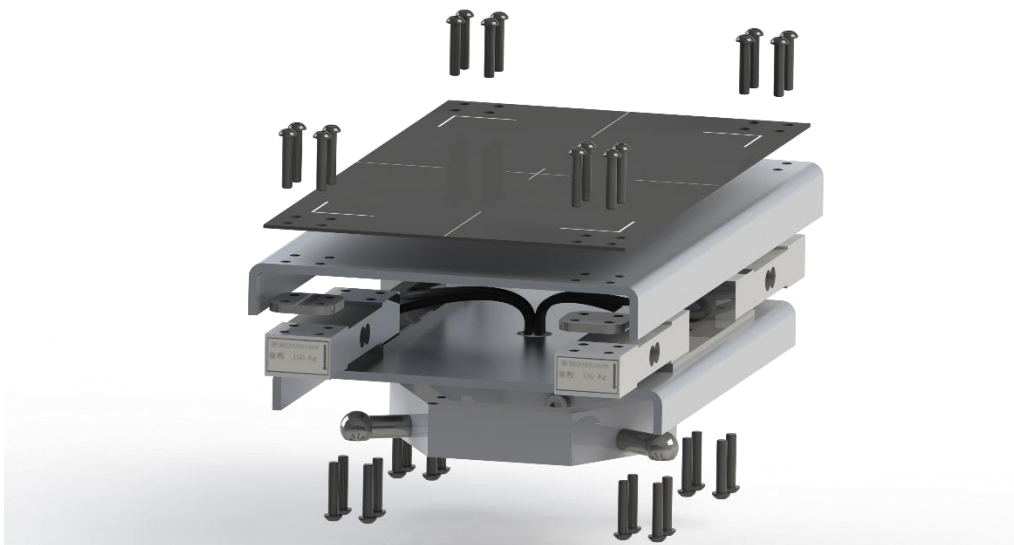
Većina ostalih komponenata u mehanizmu spaja se na isti način, dok neki dijelovi koriste napredne mogućnosti spajanja. Kod velikih sklopova preporučuje se fiksirati elemente koji nisu mobilni i u opcijama komponente prebaciti iz *Resolved* u *Lightweight*, čime se poboljšavaju performanse velikih sklopova. Otvaranje i obnavljanje sklopova brže je jer *Lightweight* element ne učitava cijelu memoriju komponente nego samo onoliko koliko je potrebno.

Na slici 7.19. prikazan je rastavljeni donji dio sklopa platforme s elementima povezanim na isti način kao što je prikazano na prethodnoj stranici. Pogled na rastavljeni sklop može se dobiti opcijom *Assembly/ Exploded View* 🧰. Možemo takav sklop zasebno i animirati, a opcija za animaciju nalazi se u stablu pod *ConfigurationManager*.



Slika 7.19. Donji dio sklopa u rastavljenom stanju

Slijedi spajanje gornjeg dijela platforme, prikazano na slici 7.20., koja sadrži mjerne ćelije. Otvara se novi *Assembly* u kojemu se stavljaju komponente i spajaju opcijom *Mate*. Jedina razlika kod ovog sklopa je ta što koristi dodatnu opciju za zavar koja se nalazi u *Assembly/ Assembly Features/ Weld Bead* 🔨. Var se nalazi na donjem dijelu srednje platforme i šesterokutnog zavarenog profila koji se sastoji od aluminijskih punih profila. Ovo je također jedan od sklopova koji ima izrađen novi *Part* u samom *Assemblyju*.

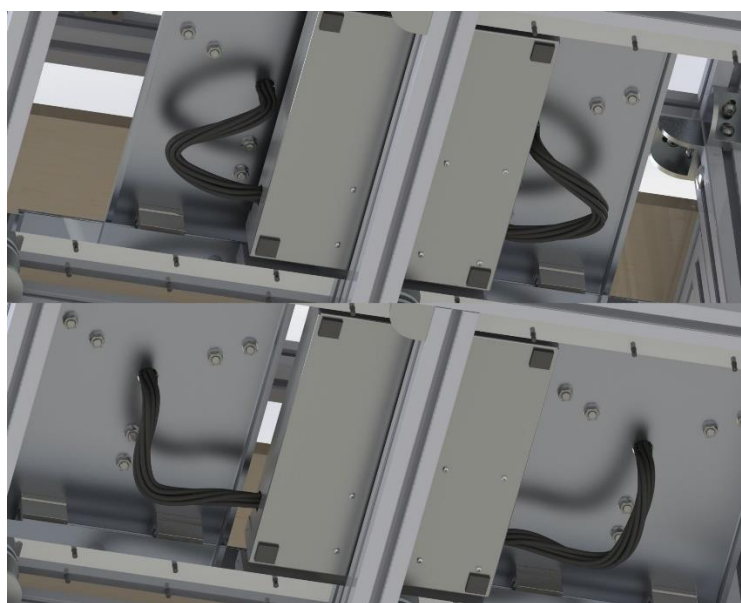


Slika 7.20. Gornji dio sklopa u rastavljenom stanju

U ovom završnom radu svaki *Part* koji je izrađen u sklopu odnosi se na ožičenje odnosno kable koji povezuju linearne aktuatori i mjerne ćelije s kućištem za elektroniku. Razlog korištenja ovakvog pristupa izradi kabla je taj što se omogućuje animiranje kabla koji su vanjskim vezama *External References* povezani s ostalim elementima sklopa. Na taj način omogućena je manipulacija kabla u stvarnom vremenu. To znači da, ako je kabel povezan između dviju točki od koje je jedna usidrena a druga mobilna, pomakom mobilne točke kabel prati nju i mijenja svoj oblik po unaprijed definiranoj putanji stvarajući novi oblik. Na slici 7.21. i 7.22. prikazani su primjeri ove metode animiranja kabla.





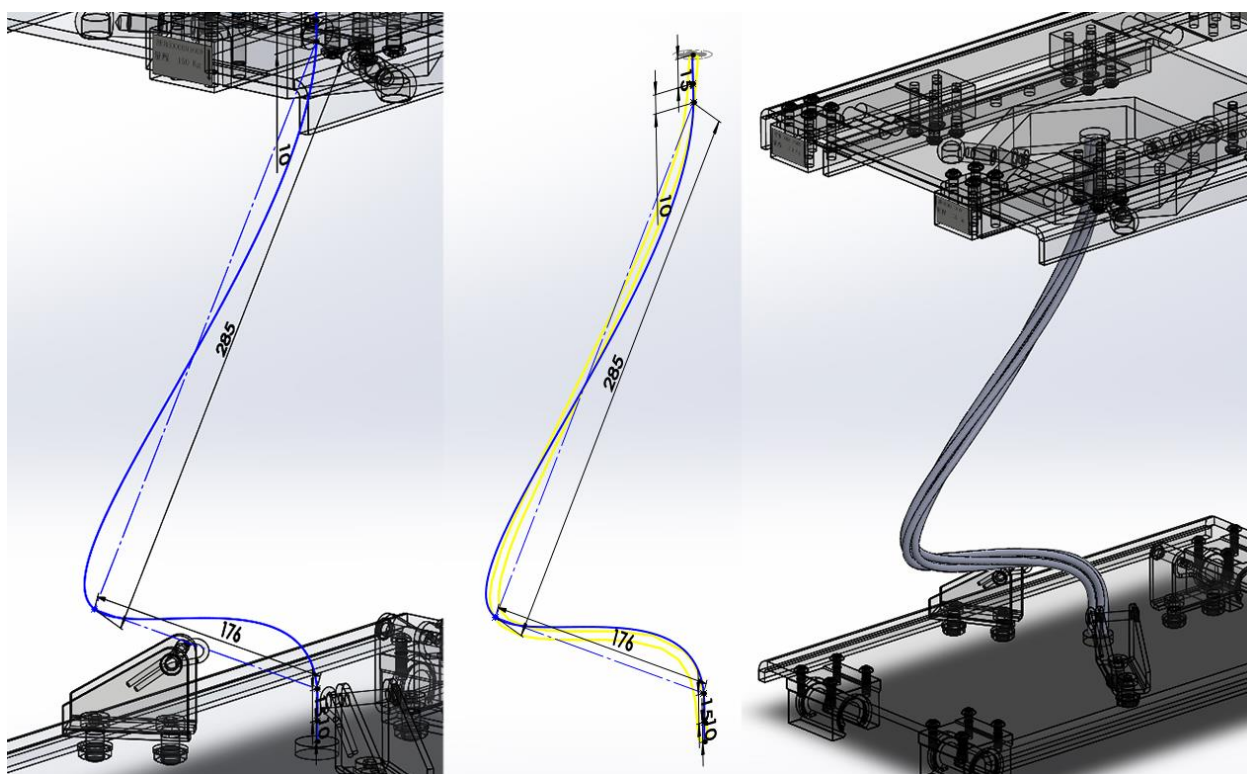
Slika 7.21. Kabel u različitim pozicijama




Slika 7.22. Kabel u različitim pozicijama

Način izrade kabla ide na sljedeći način: u programskom alatu SolidWorks otvori se postojeći sklop, zatim se stvara novi *Part* opcijom *Assembly/ Insert Components/ New Part*. U *Partu* se stvara *Sketch*, bira se željena ravnina i na ravnini se crtaju kružnice. Kružnice treba kotirati i moraju biti definirane.

Dalje treba napraviti novi *3D Sketch* i s *Construction Line* , crtaju se linije za željeni pomak kabla na koje kasnije dolazi krivulja koja se crta pomoću opcije *Spline*  prikazane na slici. Linije u krajnjim točkama moraju biti spojene s elementima sklopa, treba ih kotirati i moraju biti potpuno definirane. Jedna krajnja točka mora biti centrirana i spojena s kružnicom iz prijašnjeg *Sketcha*.



Slika 7.23. Izrada kabla

Kada su crteži kružnice i krivulje gotovi, odabire se opcija *Features/ Swept Boss/Base*  pomoću koje se dobije 3D model kabla. U opciji se prvo odabire kružnica, a zatim krivulja, a one s dodatnim opcijama čine spiralni kabel.

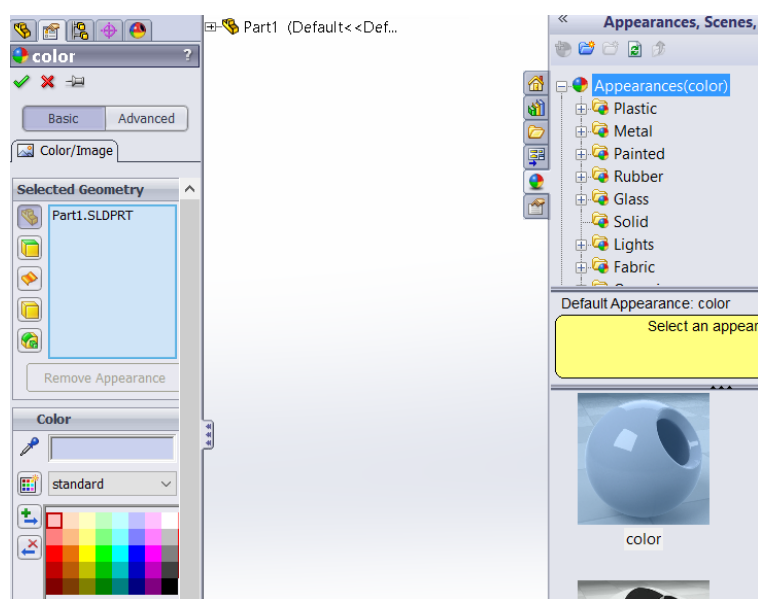
Ostali kabli modelirani su na isti način, koristi se ista shema ali drukčije konstrukcijske linije koje omogućuju izradu različitih animiranih krivulja.

Nakon što se ubace linearni aktuatori u postojeći sklop, ostaje još samo jedan zadatak. U programskom alatu SolidWorks možemo odabrati vizualni materijal i njegovu boju. Svaki element platforme ima zadani materijal i boju koji su temeljeni na stvarnim dijelovima. Još jedna od zanimljivih opcija je *Edit Decal* 🖨️ pomoću koje se mogu dodavati naljepnice modelima da ih čine realističnijima. Na slici 7.24. je prikazan model Ni myDAQ uređaja prije i poslije dodavanja boja i naljepnica.



Slika 7.24. Dodavanje tekstone modelu

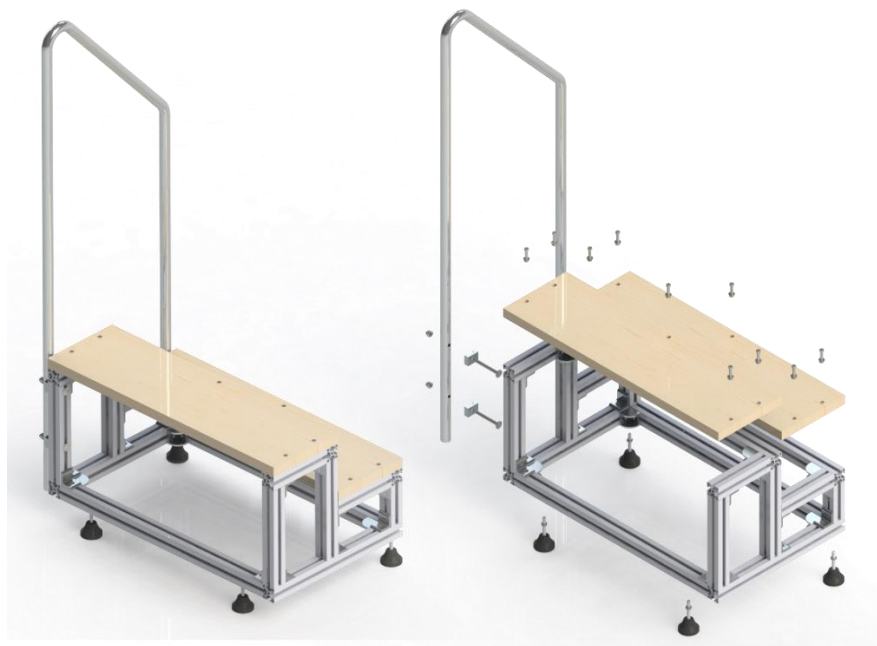
Dodavanje ili mijenjanje boje vizualnog materijala modela postiže se opcijom *Render Tools/ Edit Appearance* 🎨 ili desnim klikom u stablu na *Part* i odabirom ikone 🎨 ulazi se u opciju *Edit Appearance* prikazanu na slici 7.25.



Slika 7.25. Opcija za dodavanje boje i materijala modelu

Nakon gotovog sklopa platforme na isti način u programskom alatu SolidWorks u novom se *Partu* modeliraju ostali dijelovi koji se kasnije spajaju u podsklopove, a zatim u jedan sklop opcijom *Assembly*. Slijedi kratak prikaz ostalih dijelova spojenih u podsklopove.

Na slici 7.26. prikazan je sklop stepenica prototipa u spojenom i rastavljenom stanju. Oni fizički nisu povezani s glavnim kućištem radi lakšeg prenošenja uređaja.



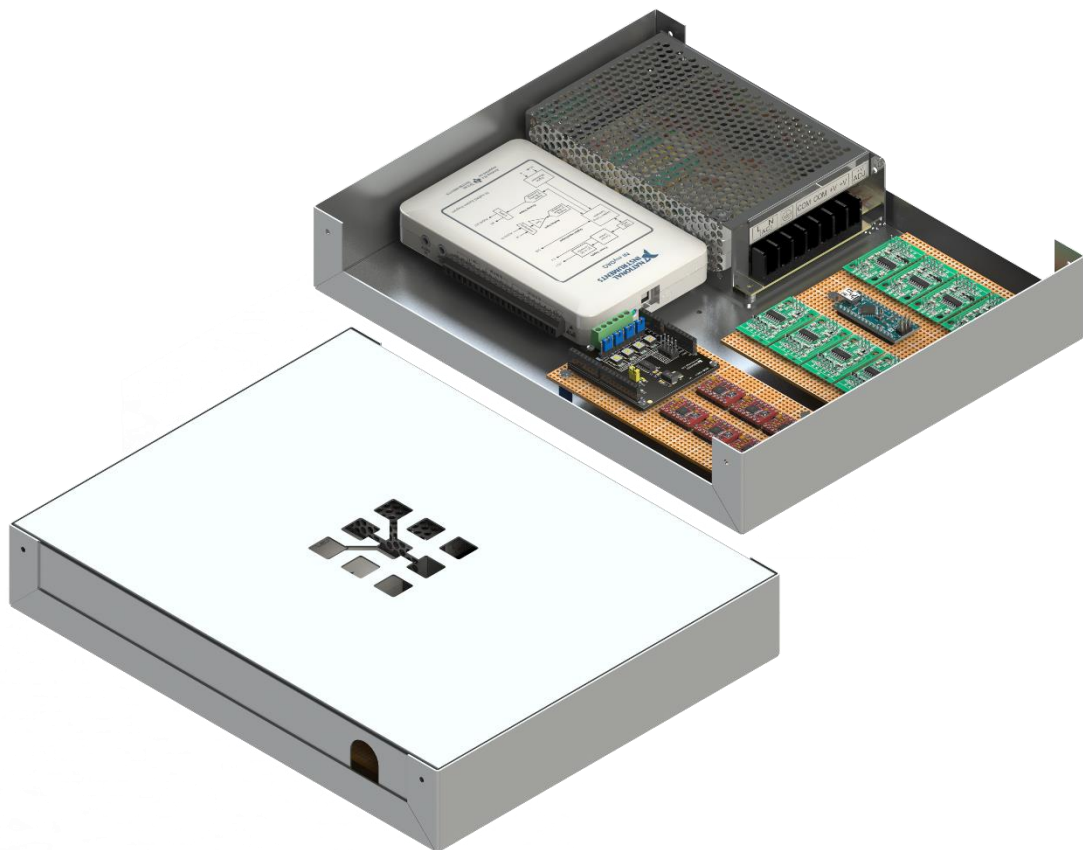
Slika 7.26. Sklop stepenica

Slijedi prikaz sklopa kućišta u spojenom i rastavljenom stanju bez platformi. Gornji dio rukohvata spojen je u zasebnom sklopu.



Slika 7.27. Sklop kućišta

Slijedi sklop kućišta s elektronikom bez ožičenja. Na slici 7.28 prikazano je kućište sa i bez gornjeg poklopca. Elektroničke komponente i *protoboard* sklopljeni su u zasebnom sklopu koji je kasnije ubačen u glavni sklop kućišta.

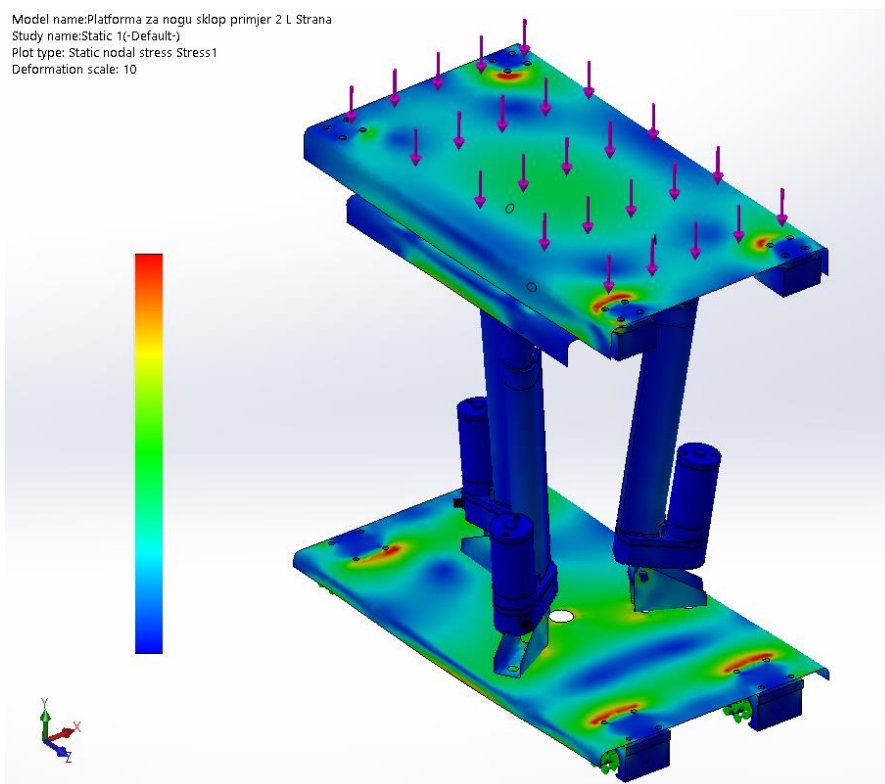


Slika 7.28. Sklop kućišta s elektronikom

8. METODA KONAČNIH ELEMENATA

Najčešće je korištena metoda računarske analize u inženjerstvu metoda konačnih elemenata (*FEM* – engl. Finite Element Method). *FEM* analiza služi za određivanje stresa, deformacija, prijenos topline, raspodjelu magnetskog polja, tok fluida, itd. To bi bilo nepraktično rješavati bilo kojim drugim metodama [24].

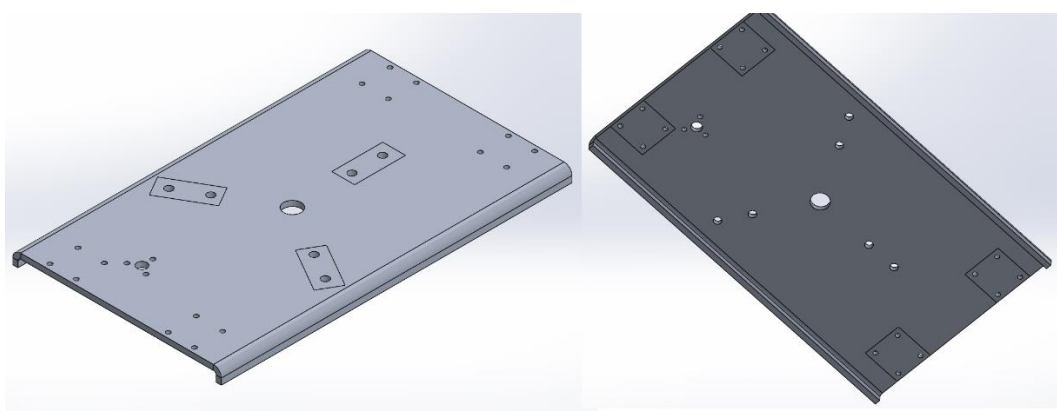
Kod *FEM* analize struktura se predstavlja modelom koji se sastoji od međusobno povezanih elemenata koji dijele problem na male blokove. Umjesto same geometrije dizajna ova metoda zahtijeva apstraktni model. Znači, da bi se koristila metoda konačnih elemenata, treba interaktivno ili automatski generirati model. Nakon provođenja *FEM* analize na svakom elementu računalo asemblira rezultate i prikazuje ih vizualno. Područja stresa prikazana su raznim bojama. Na primjer, velika naprezanja prikazana su crvenom bojom. Za model se najprije definiraju opterećenja u željenim točkama, postavke sile i uklještenja te se pristupa postavljanju mreže. Ona je zapravo način na koji je model podijeljen na male konačne elemente, a to je posao koji ovisi o znanju i iskustvu inženjera. Što je mreža gušća, vrijeme obrade je duže, ali proračun je precizniji. Odabir materijala neophodan je kada se izvode analize i simulacije, također, po odabiru materijala možemo vidjeti i masu modela.



Slika 8.1. FEM analiza sklopa platforme

Kod većih sklopova FEM analiza često zahtijeva velike količine resursa i snažnije računalo za obradu podataka. U ovom slučaju sklop se rastavlja na pojedine dijelove s nacrtanim konturama koje su u kontaktu s drugim elementima. Tako možemo dobiti naprezanja u pojedinim bitnim elementima koji čine sklop. Način dobivanja rezultata prikazanih na slici prikazan je u nastavku.

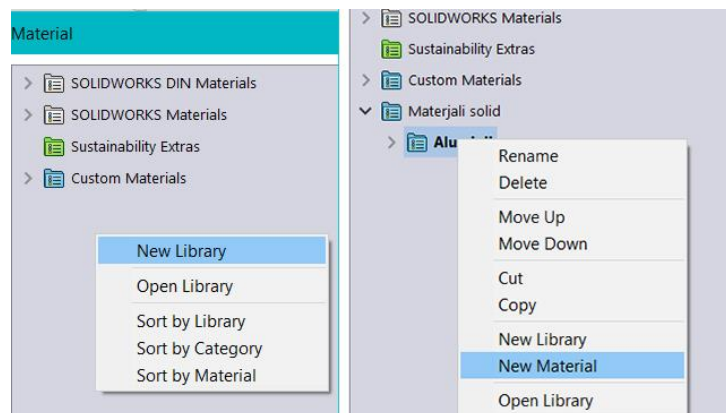
U programskom alatu Solidworks otvara se postojeći element, crta se novi *Sketch* koji predstavlja spojeve s drugim elementima. Izlaskom iz *Sketcha* ulazi se u *Features/ Curves/ Split line* 🗑️ što omogućuje *Sketchu* da bude odvojena površina od ostatka plohe što je prikazano na slici 8.2.



Slika 8.2. Korištenje opcije *Split line*

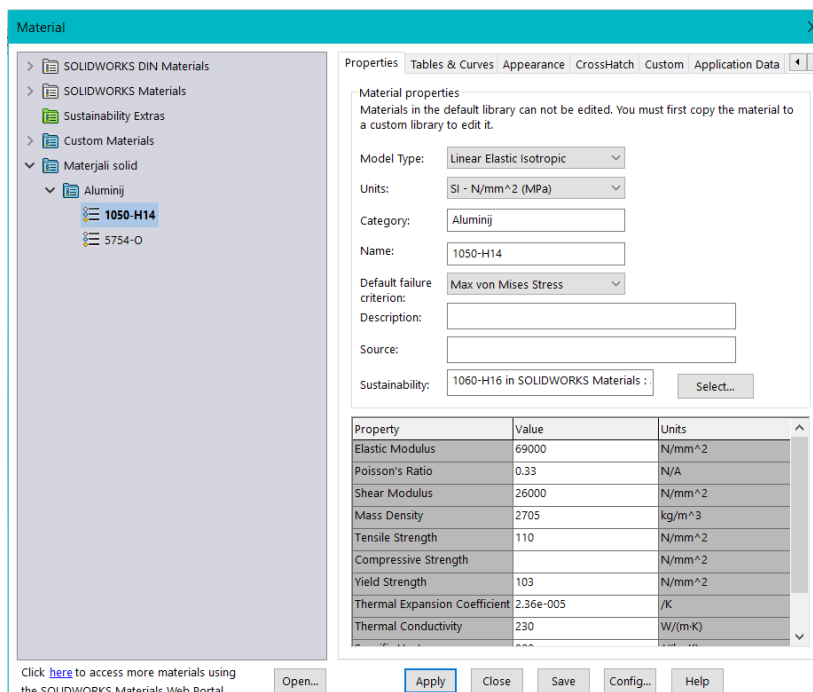
Zatim se otvara opcija *Office Products/ SolidWorks Simulation/ Study Advisor/ New Study* 🗑️, u kojoj se stvara nova FEM analiza. Opcija najprije nudi vrstu proučavanja, u ovom slučaju bira se statično proučavanje (*Static* 🗑️). Slijedi biranje materijala koji možemo odabrati tijekom izvedbe analize ili odvojeno u *Partu*. Programski alat Solidworks u bazi podataka već ima razne vrste materijala u ponudi, ali u ovom slučaju materijal nije bio ponuđen pa se stvara novi materijal. Za ubacivanje novih materijala treba napraviti novu mapu kod postojećih materijala i ubaciti novi ili kopirati postojeći materijal kojemu se kasnije promijene postavke.

Na slici 8.3. prikazan je način stvaranja novog materijala. Desnim klikom miša na sivu površinu spušta se izbornik i bira se *New Library*. Kada se napravi nova mapa, desnim klikom na nju bira se opcija *New Material* kojom se stvara novi materijal.



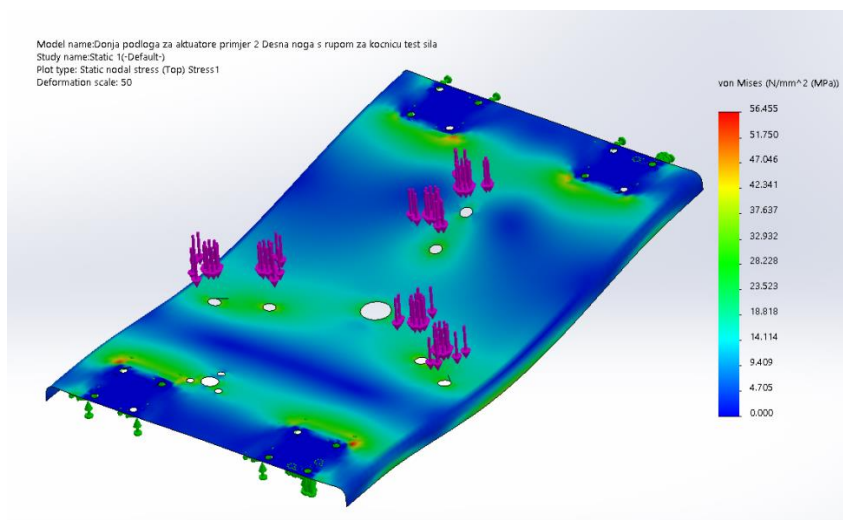
Slika 8.3. Izrada novog materijala

Kako je već ranije napomenuto, materijali se mogu raditi od početka ili se mogu kopirati i mogu im se promijeniti određene postavke. Slika 8.4. prikazuje novi materijal s unesenim podacima spremnim za dodavanje modelu.

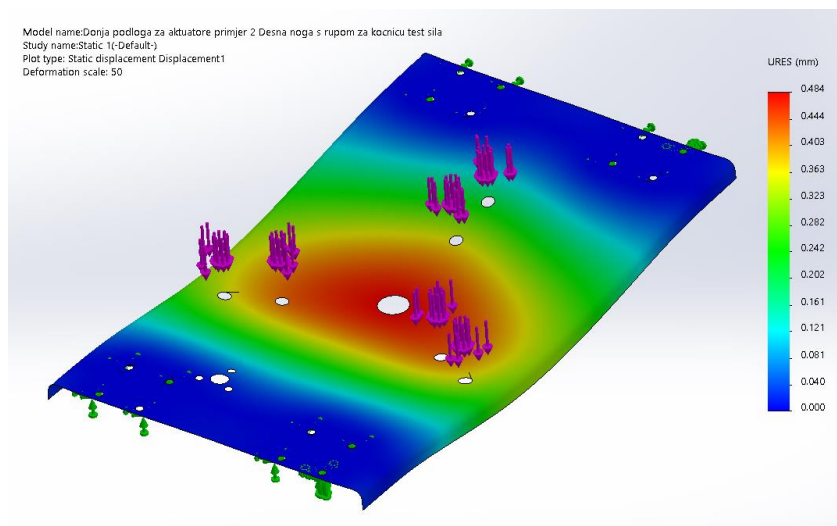


Slika 8.4. Podatci o materijalu

Slijedi odabir uklještenja opcijom *Fixtures* i sile opcijom *External Loads*. Kad se unesu podaci, odabire se opcija *Mesh and Run* koja pokreće analizu. U trenutku završetka analize dobiju se sljedeći rezultati: rezultati naprezanja (*Stress*), rezultati deformacije naprezanja (*Strain*), rezultati deformacije (*Displacement*) i element s postavljenim opterećenjima. Model na slici testiran je na silama od 2000 N koje su prikazane ljubičasto obojanim strelicama, dok su uklještenja prikazana zelenim strelicama.

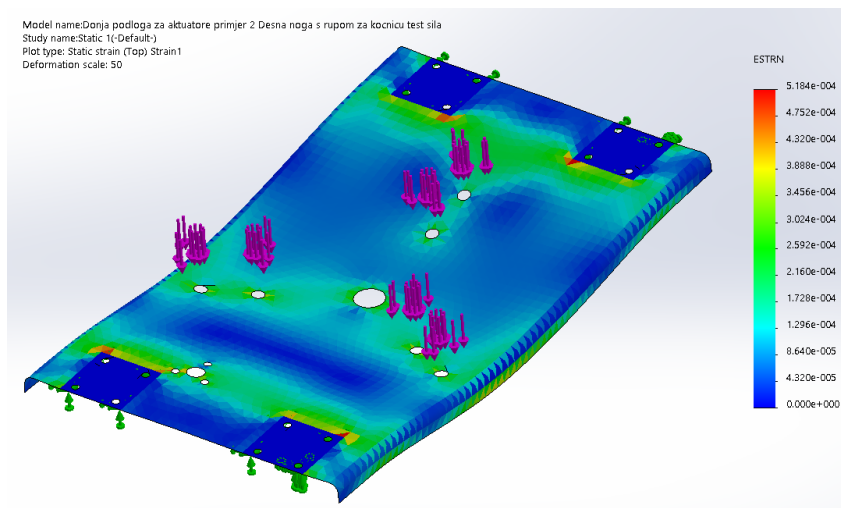


Slika 8.5. Rezultati naprezanja



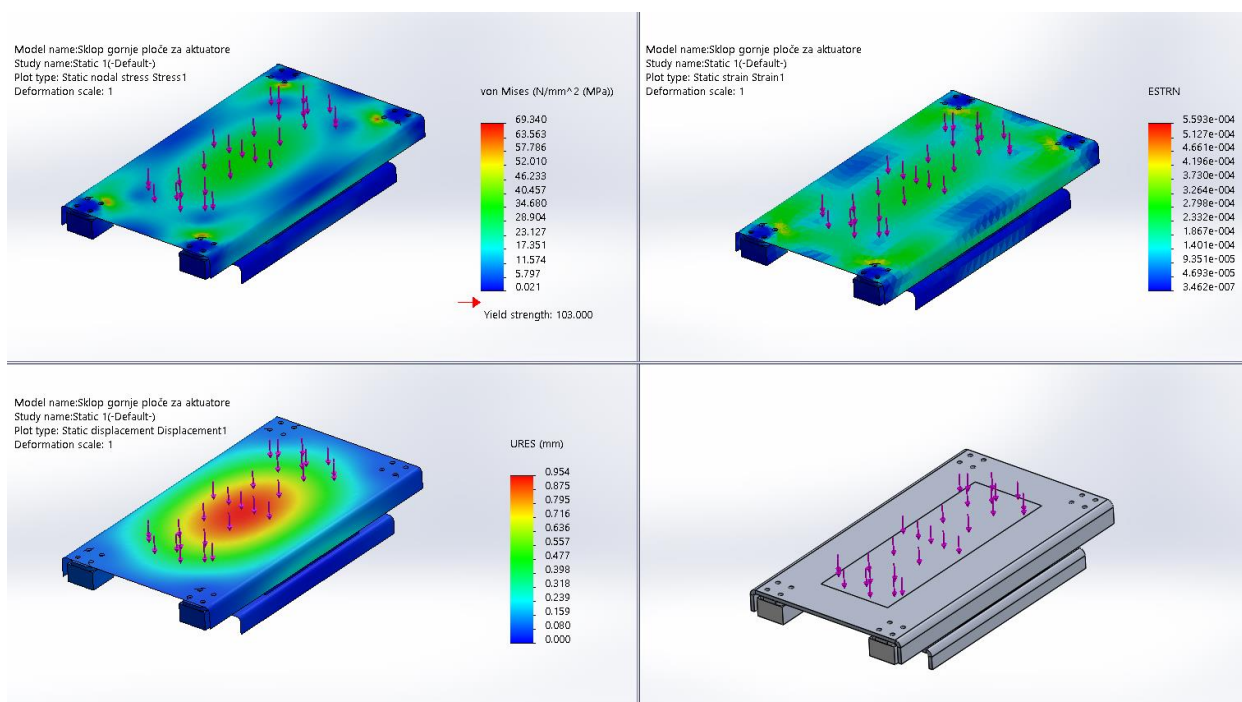
Slika 8.6. Rezultati deformacije

Iz rezultata se može vidjeti da je maksimalno naprezanje 56 MPa, dok je dopušteno (*Yield Strength*) 103 MPa, što znači da naprezanje ne prelazi granicu čvrstoće popuštanja (slika.). Također pokazuje i kolike se deformacije javljaju u materijalu. Na slici one iznose oko 0,48 mm.



Slika 8.7 Rezultati deformacije naprezanja

U slučaju da se analizira sklop modela, koristi se opcija *Connections* kojom se definiraju spojevi u sklopu. Slika 8.8. prikazuje rezultate analize gornjeg podsklopa platforme.



Slika 8.8. FEM analiza gornjeg podsklopa platforme

9. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazana je ideja i izrada 3D modela prototipa mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela. Za izradu modela u programskom alatu SolidWorks koristila su se znanja usvojena tijekom studija upotpunjena dodatnim detaljnim istraživanjima.

U završnom radu prikazan je mali dio izrade modela prototipa koji prikazuje kako na jednostavan način prosječan korisnik može modelirati 3D model spreman za proizvodnju.

Izrada samoga modela nije bila previše zahtjevna, najveći problemi javljali su se kod dizajniranja prototipa. Kad nedostaje znanja o različitim mehaničkim i elektroničkim komponentama, kao u ovom slučaju, neophodno je provoditi istraživanja. Istraživanja su neophodna da se utvrdi koje bi komponente bile najbolje i koji bi princip njihove upotrebe zadovoljio potrebe uređaja. Tijekom dizajniranja veliki broj komponenti bio je promijenjen zbog nedostupnosti materijala, a time se mijenjao i sam dizajn prototipa. S obzirom na to da se radi o uređaju koji pomaže ljudskom zdravlju, treba ga izraditi što preciznije i kvalitetnije da bi bio siguran i pouzdan.

Ovaj završni rad možda ne predstavlja najbolje rješenje za mehanički sklop, ali je podloga za daljnje razmatranje i istraživanje koje će dovesti do boljeg, kvalitetnijeg i preciznijeg modela, a zatim i do konačnog proizvoda spremnog za rad.

.

10. LITERATURA

- [1] Wikipedia. Prototip [Online]. 2013. Dostupno na:
<https://bs.wikipedia.org/wiki/Prototip> (10.2.2017.)
- [2] Dean Mistura, Nesrazmjer u dužini nogu. [Online]. 2016. Dostupno na:
<https://burza.com.hr/portal/nesrazmjer-u-duzini-nogu/2455> (10.2.2017.)
- [3] What Causes Leg Length Discrepancy (LLD)? [Online]. 2016. Dostupno na:
<https://www.epainassist.com/joint-pain/leg-pain/what-causes-leg-length-discrepancy-and-what-are-its-symptoms-signs>
- [4] Fairview. When Your Child Has Leg-Length Discrepancy (LLD) [Online]. 2016. Dostupno na
<https://www.fairview.org/healthlibrary/Article/8906>
- [5] TENISICE.HR. Je li vaše stopalo supinacijsko? [Online]. 2015. Dostupno na:
<http://www.tenisice.hr/infoportal/kategorija/trcanje/je-li-vase-stopalo-supinacijsko.html>
- [6] TENISICE.HR. Što znači pronacija stopala?[Online]. 2015. Dostupno na:
<http://www.tenisice.hr/infoportal/kategorija/trcanje/sto-znaci-pronacija-stopala.html>
- [7] 3sporta.com. ABECEDA KUPNJE TENISICA [Online]. 2016. Dostupno na:
<http://3sporta.com/abeceda-kupnje-tenisica-znas-li-svoj-tip-stopala/>
- [8] Wikipedia. Computer-aided design [Online]. 2017. Dostupno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design
- [9] WIKIVERSITY. Computer-aided design/ principles and terminology [Online]. 2017. Dostupno na:
https://en.wikiversity.org/wiki/Computer-aided_design/Principles_and_terminology
- [10] Wikipedia. SolidWorks [Online]. 2017. Dostupno na:
<https://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [11] Strojopromet Zagreb. Aluminij [Online]. Dostupno na:
<http://www.strojopromet.com/aluminij/>
- [12] Wikipedia. Ball joint [Online]. 2016. Dostupno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_joint
- [13] Wikipedia. Vijak [Online]. 2016. Dostupno na:
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Vijak>

[14] Fakultet elektronike i računarstva, Ivan Gašparac. Električni aktuatori [Online]. 2012. Dostupno na:

https://www.fer.unizg.hr/download/repository/ELEAKT_P1_2012%5B1%5D.pdf

[15] Wikipedia. Load cell [Online]. 2017. Dostupno na:

https://en.wikipedia.org/wiki/Load_cell

[17] National instruments. myDAQ-Student Data Acquisition Device [Online]. Dostupno na:

<http://www.ni.com/en-rs/shop/select/mydaq-student-data-acquisition-device>

[18] Arduino. Arduino nano [Online]. Dostupno na:

<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>

[19] Devobox. Innoesys 4 DAC Shield for Arduino [Online]. Dostupno na:

https://www.devobox.com/index.php?id_product=193&controller=product&id_lang=2

[20] Pololu. A4988 Stepper Motor Driver Carrier [Online]. Dostupno na:

<https://www.pololu.com/product/1182>

[21] Pic control. Load Cell Circuit [Online]. Dostupno na:

<http://www.pic-control.com/load-cell-circuit/>

[22] Wikipedia. Napajanje [Online]. 2015. Dostupno na:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Napajanje>

[23] Savijanje. Obrada lima savijanjem PDF [Online]. Dostupno na:

<https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjapcfJ15XSAhVklcAKHYJ2BPgQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fstatic.elitesecurity.org%2Fupload%2F%2F8%2F2814997%2FSavijanje.pdf&usg=AFQjCNEeQV81SiTPwoonr6nIPN8Vqa23Q&cad=rja>

[24] Documents.mx. Fem analiza [Online]. 2015. Dostupno na:

<http://documents.mx/documents/fem-analiza.html>

SAŽETAK

Prototip mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskoga tijela.

U ovom završnom radu napravljen je 3D model prototipa mehaničkog sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela čija je svrha određivanje razlike u duljini lijeve i desne noge. Dodatno se radi korekcija nagnutosti stopala pacijenta, pronacija odnosno supinacija. 3D model prototipa mehaničkog sklopa izrađen je pomoću programskog alata SolidWorks. Opisan je način rada uređaja, opisane su komponente korištene u prototipu mehaničkog sklopa te postupak izrade modela sklopa.

Ključne riječi:

prototip, 3D modeliranje, CAD, mehanički sklop, dio, razlika u duljini nogu

ABSTRACT

The prototype of mechanical assembly for dynamic evaluation of the human body posture

In this thesis, a 3D model of a prototype of a mechanical assembly for dynamic evaluation of the human body posture was created, whose purpose is to determine the difference in the length of the left and right leg. Additionally, the angle of the foot has to be corrected, by pronation or supination. The 3D model of the mechanical assembly was created using SolidWorks programming tool. In the written part, the working principles of the prototype are described, as well as the components used in the prototype and the process of making the model.

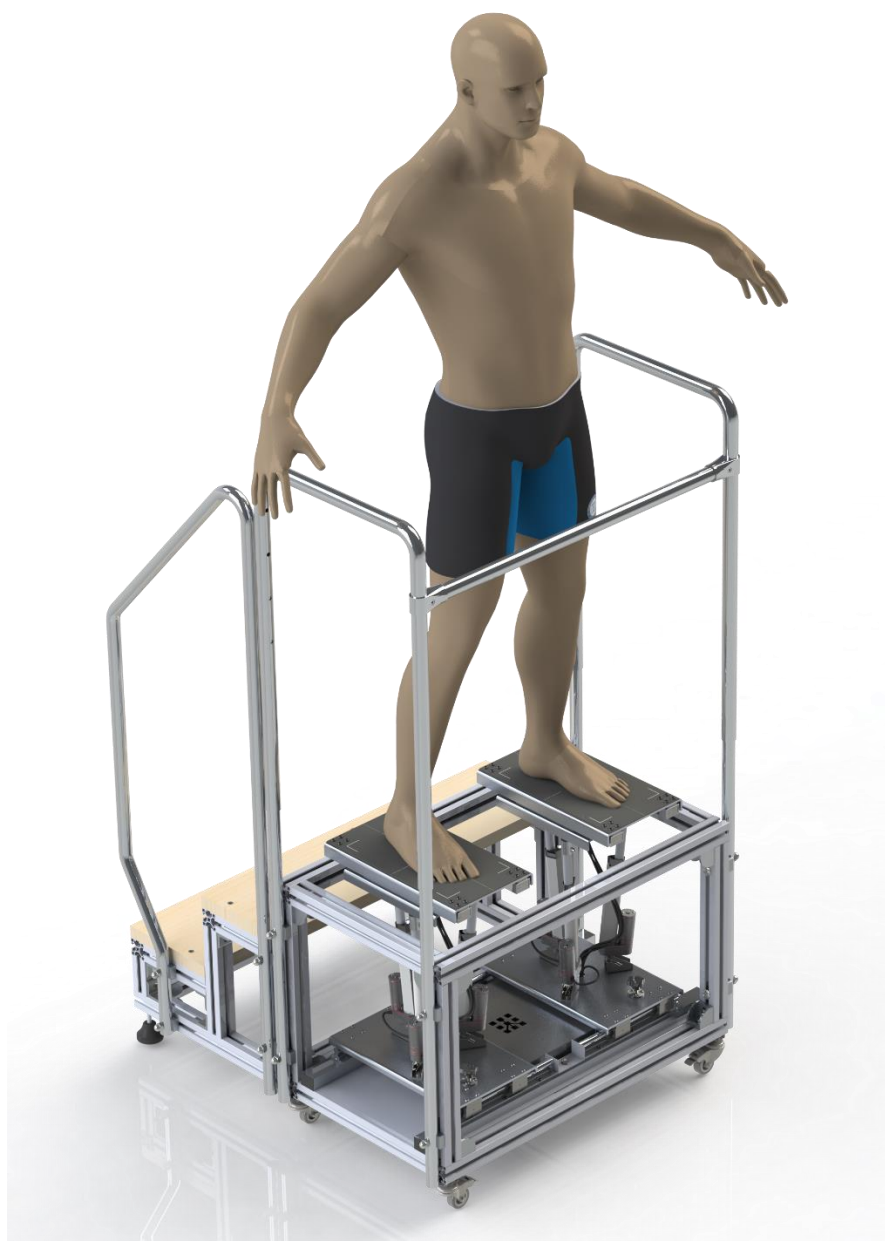
Keywords:

Prototype, 3D modeling, CAD, mechanical assembly, part, differences in leg length

PRILOZI

1. Priručnik za upotrebu i popis zamjenskih dijelova mehaničkog sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela
2. Fotorealistični promidžbeni katalog
3. Proračuni
4. Katalozi proizvoda korištenih u mehaničkom sklopu
5. 2D dokumentacija dijelova za izradu mehaničkog sklopa

Priručnik za upotrebu i popis zamjenskih dijelova
mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja
ljudskoga tijela- Verzija 1.



Sadržaj

1. Osnovni podatci	1
2. Tehnički podatci	1
3. Tehnički opis mehaničkoga sklopa	3
4. Upute za sigurno korištenje	4
5. Rezervni dijelovi	5

1. Osnovni podatci

Naziv prototipa: Uređaj za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela
Godina modeliranja: 2017.

2. Tehnički podatci

- Prototip mehaničkog sklopa
Vanjske dimenzije uređaja bez stepenica i rukohvata:
dužina 510 *mm*, širina 850 *mm*, visina 531 *mm*.
Vanjske dimenzije stepenica bez rukohvata:
dužina 500 *mm*, širina 850 *mm*, visina 375 *mm*.
Vanjske dimenzije uređaja s rukohvatom:
dužina 510 *mm*, širina 930 *mm*, visina min. 1420 *mm*, visina max. 1720 *mm*
- Težina:
Težina uređaja bez stepenica: ~ 60 *kg*
Težina stepenica: ~25 *kg*
- Nagib ploče platforme: 12°
- Maksimalna razlika u visini platforme: 150 *mm*
- Minimalni i maksimalni razmak između središta platformi:
Minimalni : 26 *cm*
Maksimalni: 55 *cm*
- Snaga linearnih aktuatora:
Max. snaga guranja: 1500 *N*
Max. vučna snaga: 1200 *N*
- Maksimalna nosivost platformi: 150*kg*

3. Tehnički opis mehaničkoga sklopa za dinamičku evaluaciju držanja ljudskoga tijela

Mehanički sklop za dinamičku evaluaciju držanja ljudskoga tijela uređaj je čija je svrha određivanje razlike u duljini lijeve i desne noge. Razlika se određuje podizanjem i spuštanjem platformi na kojima se nalazi pacijent. Pomoću razlike težina uređaj određuje koliko se ploče moraju podizati ili spustiti. Izjednačavanjem težine dobije se tražena razlika. Dodatno se radi korekcija nagnutosti stopala pacijenta, pronacija odnosno supinacija, to se postiže tako da nagnijemo ploču. Sve to služi ortopedu da napravi odgovarajući uložak za pacijenta.

Uređaj se sastoji od dviju platformi od kojih svaka sadrži četiri mjerna senzora za težinu i tri linearna aktuatora koji služe za podizanje i spuštanje te nagnijanje ploče na koju dolazi stopalo. Platforme rade na sljedećem principu: kada pacijent stane na njih, u određenom vremenskom periodu mjerni senzori bilježe težinu na pojedinu platformu. U slučaju da težine nisu jednake, uključuju se linearni aktuatori i podižu određenu platformu dok se težine na obje platforme ne izjednače. U trenutku izjednačenja dobije se tražena razlika. Za nagnutost stopala svaki od triju linearnih aktuatora, na kojima se nalazi ploča, radi za sebe te se tako dobiva kosina ploče.

Razmak između platformi regulira se pomoću kočnice locirane na donjem dijelu platforme, one se u trenutku pomaka otpuštaju rotirajući ručicu u definiranom smjeru. Platforme treba zakočiti prije samog dolaska pacijenta na uređaj.

Kućište uređaja sastoji se od aluminijskih sigma profila, aluminijskih kvadratnih profila i lima, nivelirajućih kotača s kočnicama i linearnih vodilica. Rukohvat je spojen s kućištem preko vijaka te ima mogućnost podešavanja visine pomoću opruga pinova za šuplje profile.

Stepenice se sastoje od aluminijskih sigma profila s drvenim gazištem i nivelirajućim nožicama. Rukohvat je također spojen s aluminijskom konstrukcijom pomoću vijaka.

Kućište s platformama i stepenice zasebni su sklopovi i međusobno nisu spojeni nikakvim komponentama, što omogućuje lakše prenošenje uređaja iz jednog prostora u drugi.

4. Upute za korištenje

- Uređajem smiju upravljati isključivo osobe koje su upoznate s načinom rada uređaja.
- Sve radove održavanja na mehaničkim i elektrokomponentama uređaja trebaju obavljati stručne i za to osposobljene osobe.
- Prije početka mjerenja treba provjeriti funkcionalnost uređaja u praznom hodu i otkloniti eventualne nedostatke.
- Prije samog početka mjerenja platforme treba zakočiti.
- U slučaju oštećenja na platformama treba odmah obustaviti rad i obaviti popravak kako ne bi došlo do dodatnih oštećenja mehanizma i ozljede pacijenta.
- Tijekom mjerenja obavezno je da se pacijent rukama drži za rukohvate.
- Stopala pacijenta moraju biti točno pozicionirana na platformama tako da se nalaze u središtu i u okviru označenog područja.
- Mjerenje se ne preporučuje osobama koje pate od teže akrofobije (straha od visine).

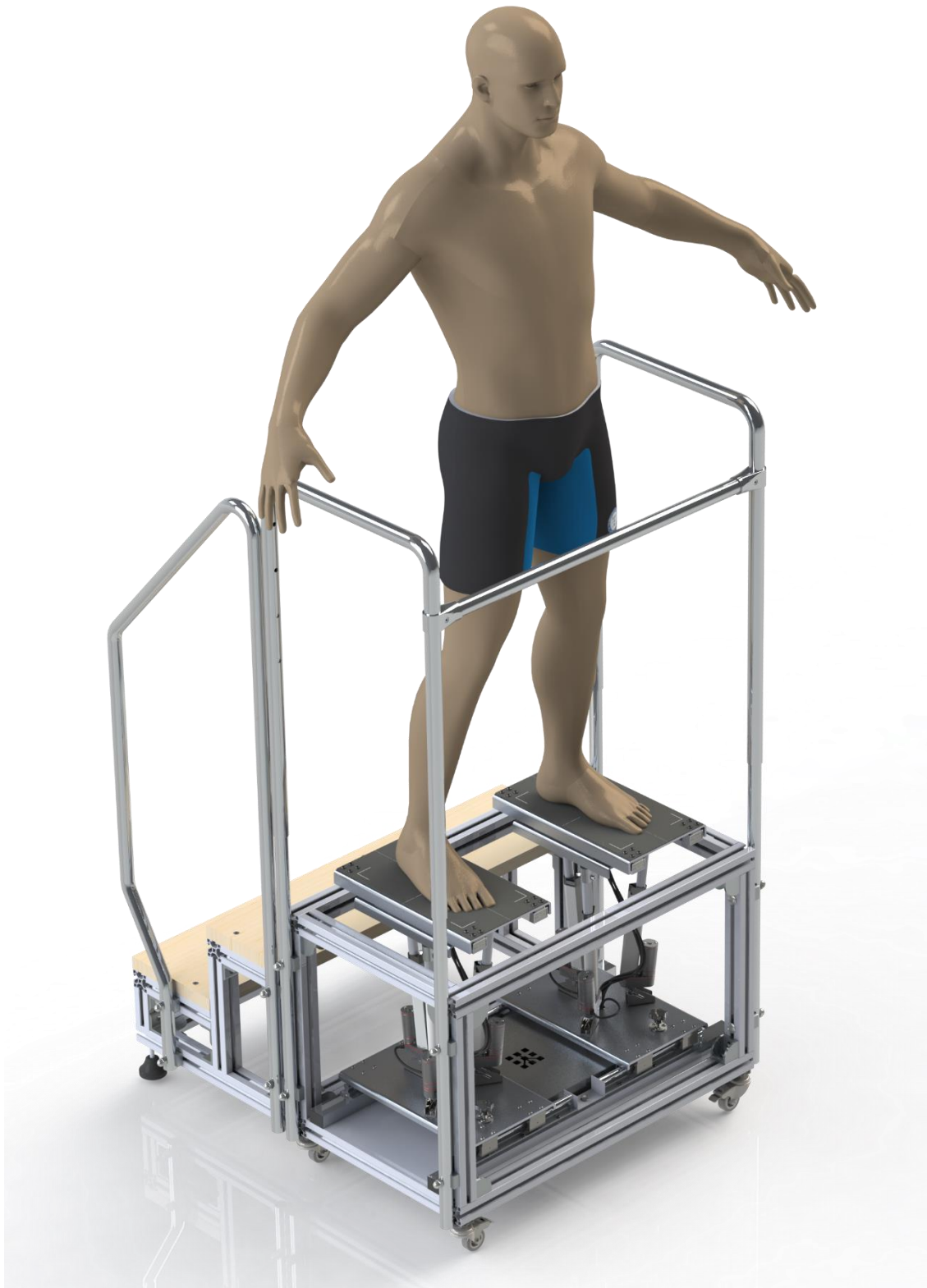
5. Rezervni dijelovi

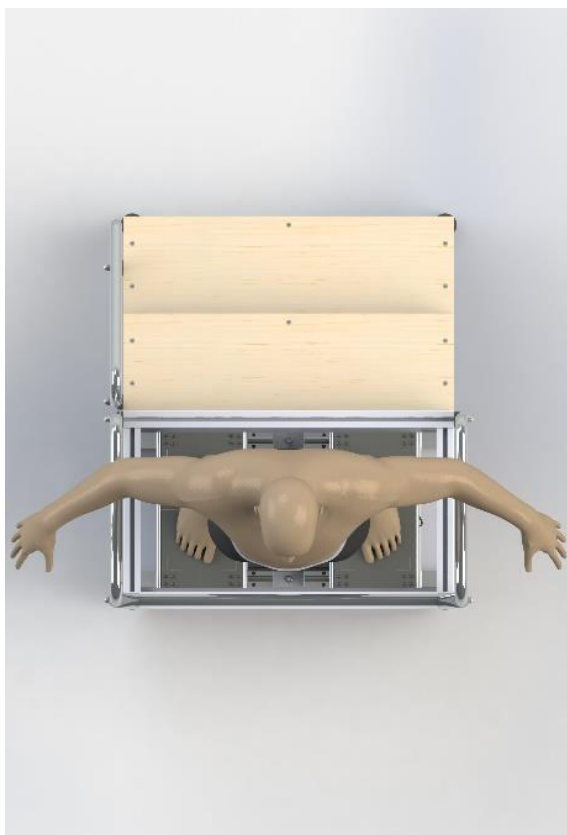
Popis rezervnih dijelova mehaničkoga sklopa:

R.br.	Naziv	Količina
1.	linearni aktuator 150 kg /150mm hoda	6
2.	senzor za težinu 150 kg	8
3.	kuglični ležaj SBR 16uu	8
4.	modul HX711	8
5.	protuklizna traka	2
6.	svornjak nosača za linearne aktuatore	6
7.	Spring brake pin	4

Fotorealistični katalog

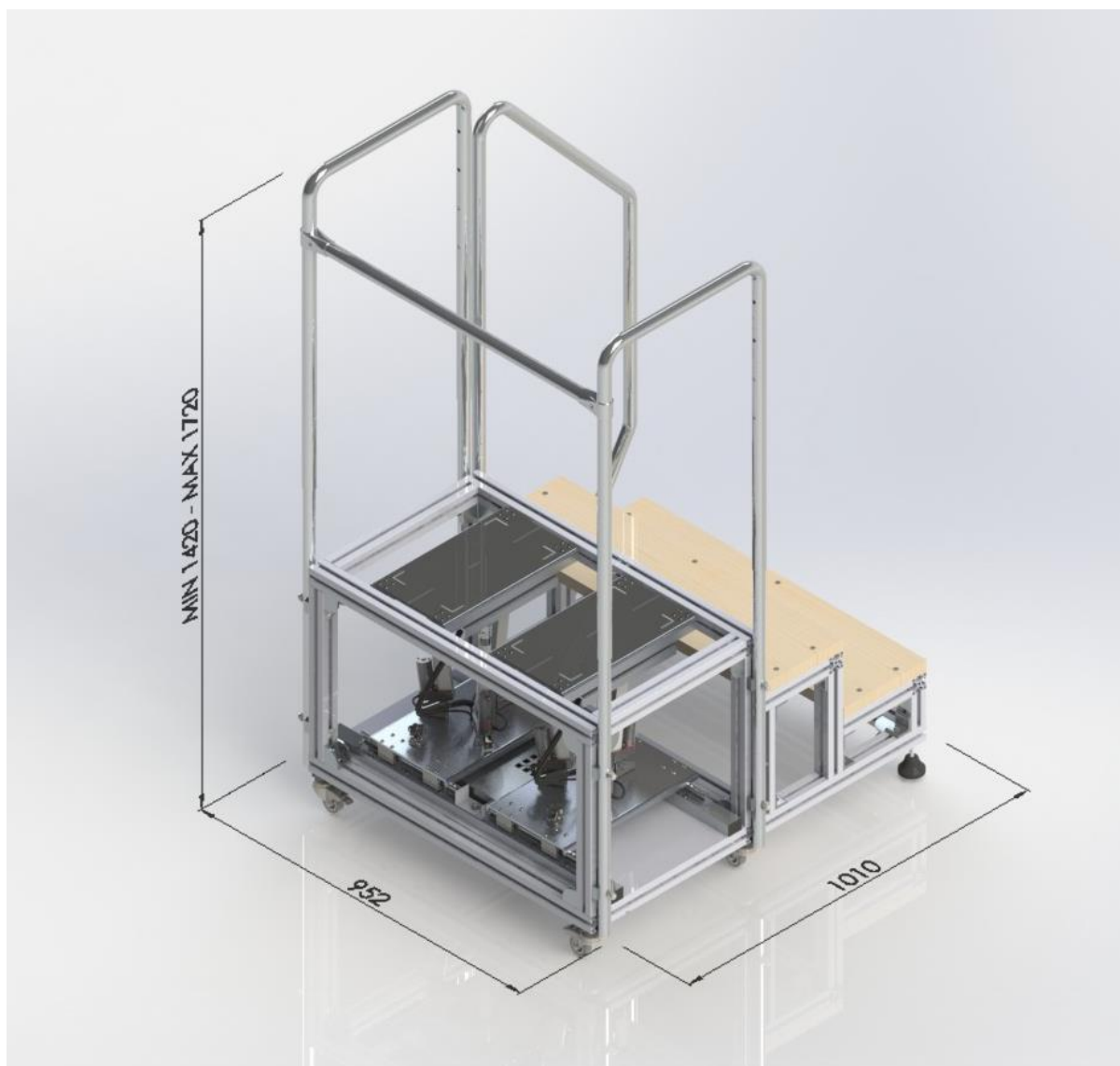
Verzija 1.





Mehanički sklop za dinamičku evaluaciju držanja ljudskog tijela je uređaj čija je svrha određivanje razlike u duljini lijeve i desne noge.

Razlika se postiže podizanjem i spuštanjem platformi na kojima se nalazi pacijent. Pomoću razlike težina uređaj određuje koliko se ploče moraju podizati ili spustiti. Izjednačavanjem težine dobije se tražena razlika. Dodatno se radi korekcija nagnutosti stopala pacijenta, pronacija odnosno supinacija, to se postiže tako da nagnjemo ploču. Sve to služi ortopedu da napravi super



Ukupne vanjske dimenzije uređaja iznose : Dužina 1010 mm, Širina 952 mm, Visina min. 1420 mm, Visina max. 1720 mm. Ukupna težina sklopa iznosi 80 kg

Ostale dimenzije:

Vanjske dimenzije uređaja bez stepenica i rukohvata:

Dužina 510 mm, Širina 850 mm, Visina 531 mm.

Vanjske dimenzije stepenica bez rukohvata:

Dužina 500 mm, Širina 850 mm, Visina 390 mm.

Vanjske dimenzije uređaja s rukohvatom

Dužina 510 mm, Širina 930 mm, Visina min. 1420 mm, Visina max. 1720 mm

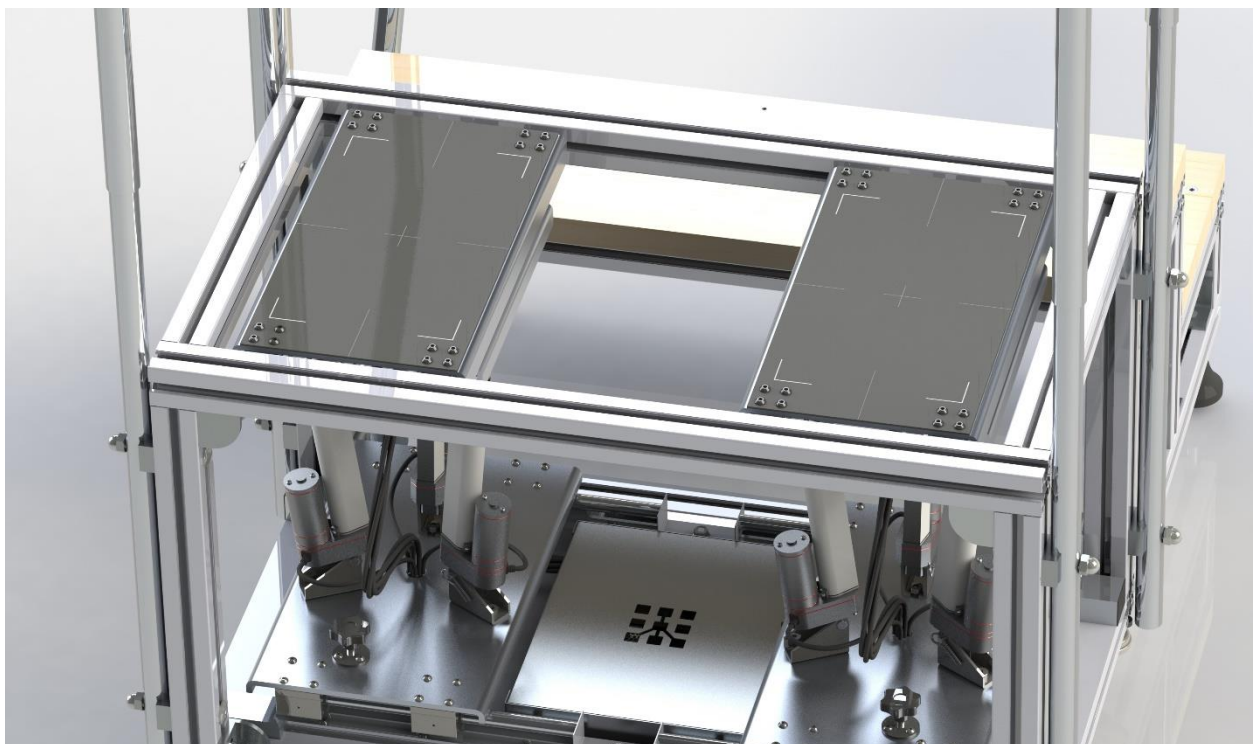
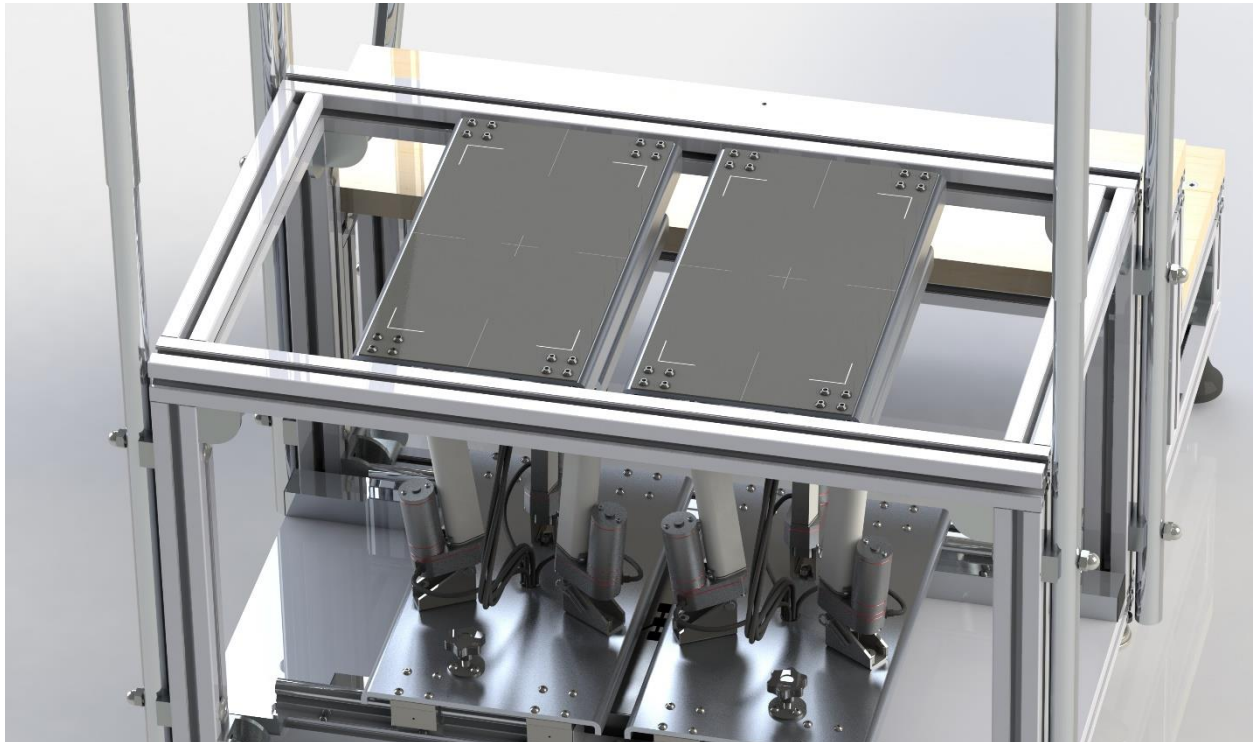
Napomena: Dimenzije ne uključuju visinu nivelirajućih nožica i kotača.



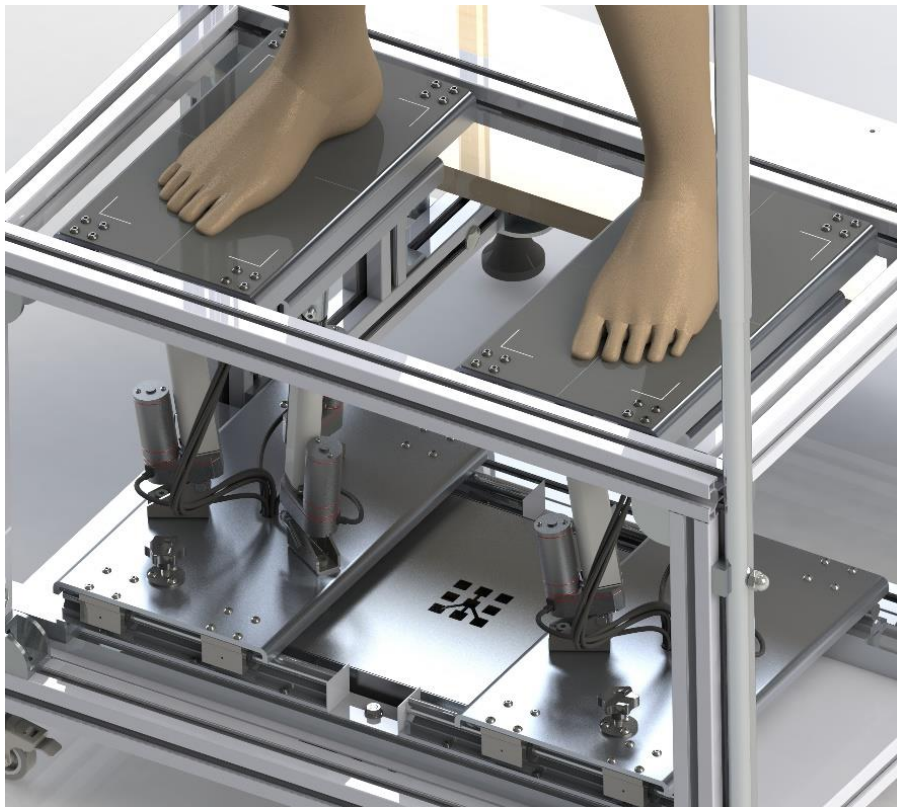
Platforme imaju mogućnost nagiba do 12° , a maksimalna razlika u visini platformi iznosi 150 *mm*. Maksimalna nosivost platformi iznosi 150 kg. Dimenzije gazišta platforme iznose 210x400 *mm*.



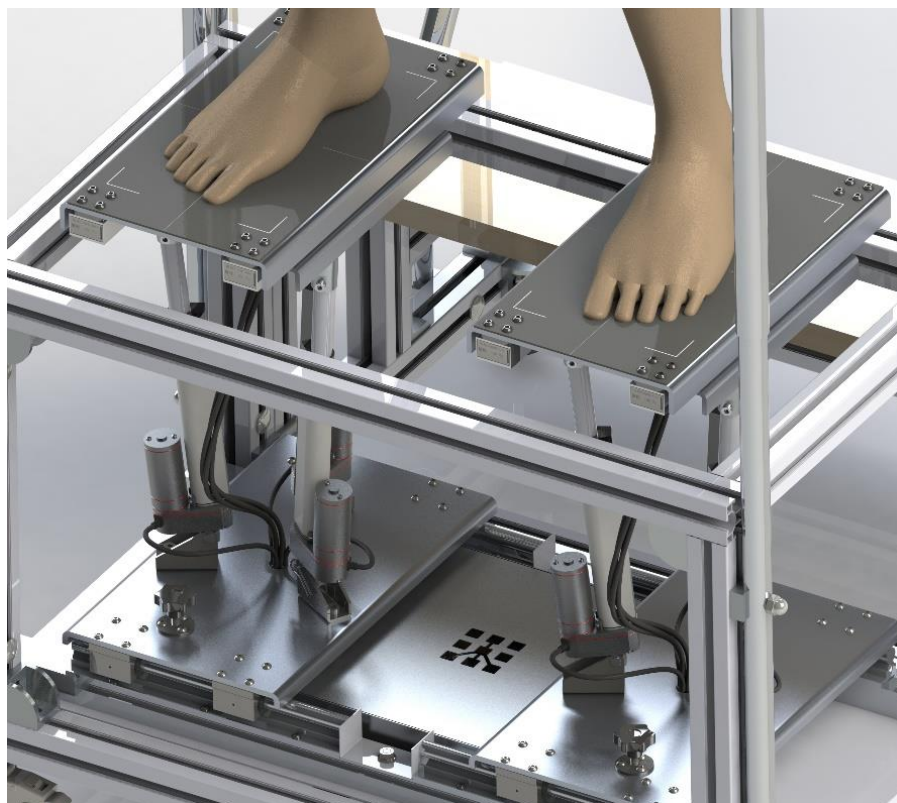
Platforme također imaju mogućnost podešavanja razmaka između središta stopala. Za prvu verziju minimalna moguća razlika je 26 cm, a maksimalna 55 mm.



Platforme u neutralnom položaju



Platforme u radnom položaju

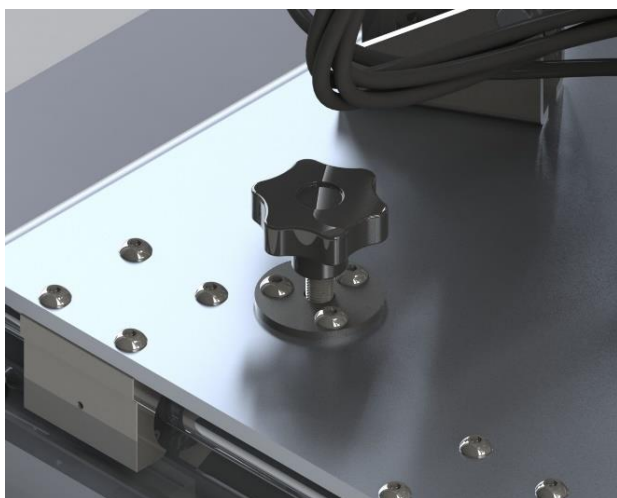




Nivelirajući kotač



Nivelirajuća nožica

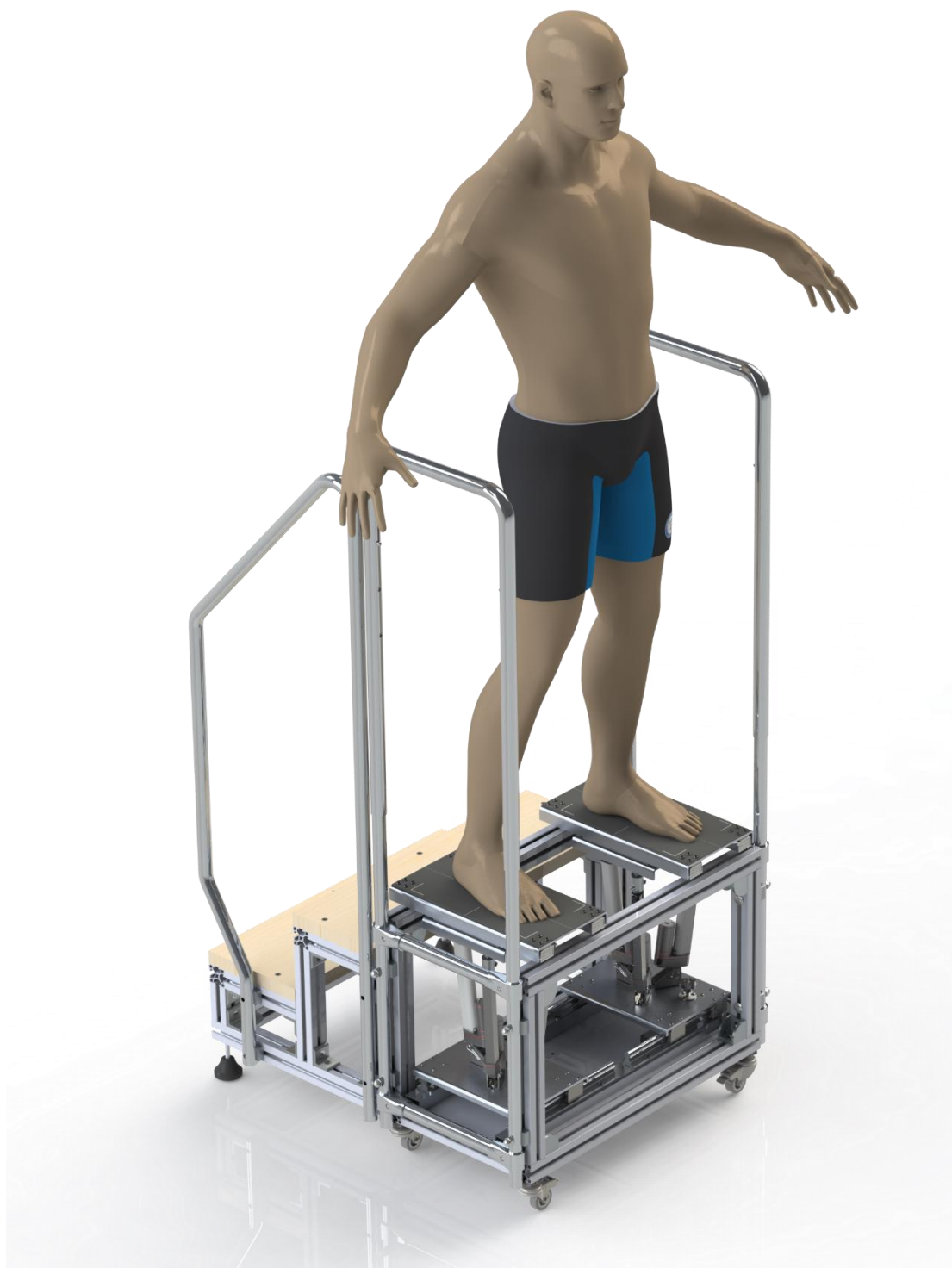


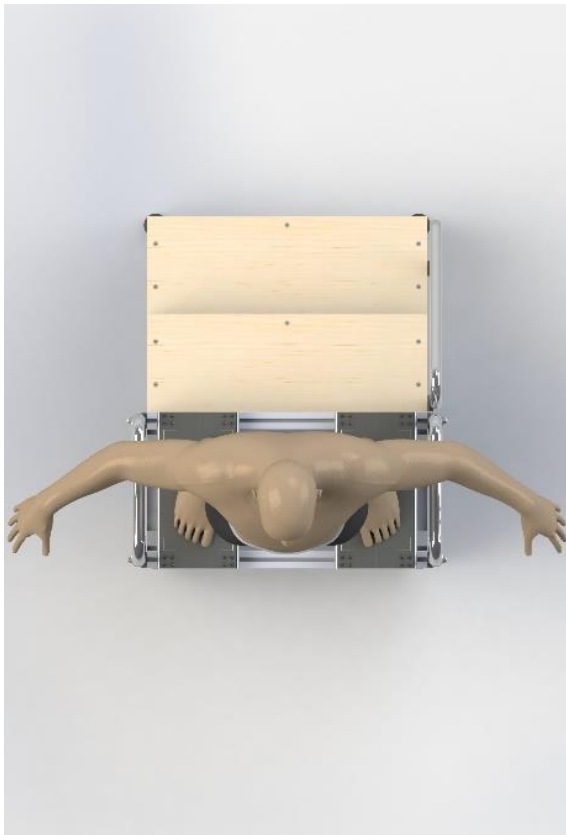
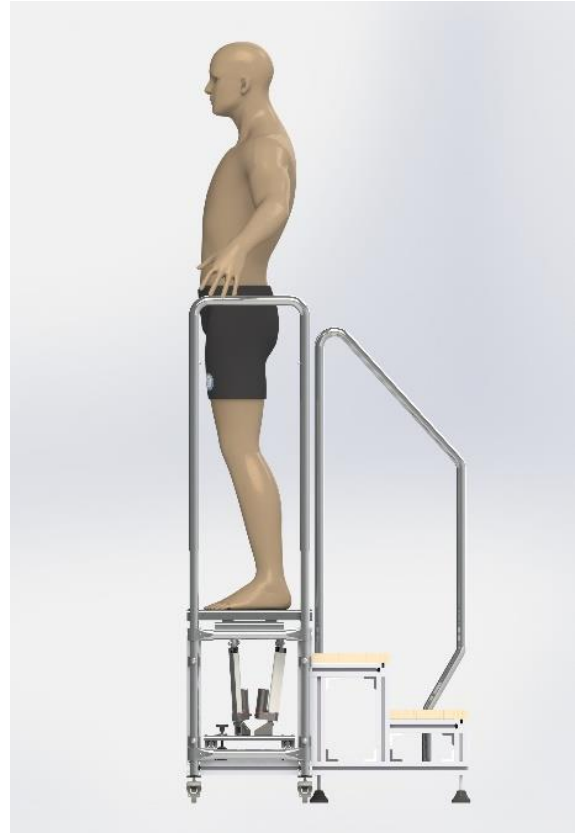
Kočnica

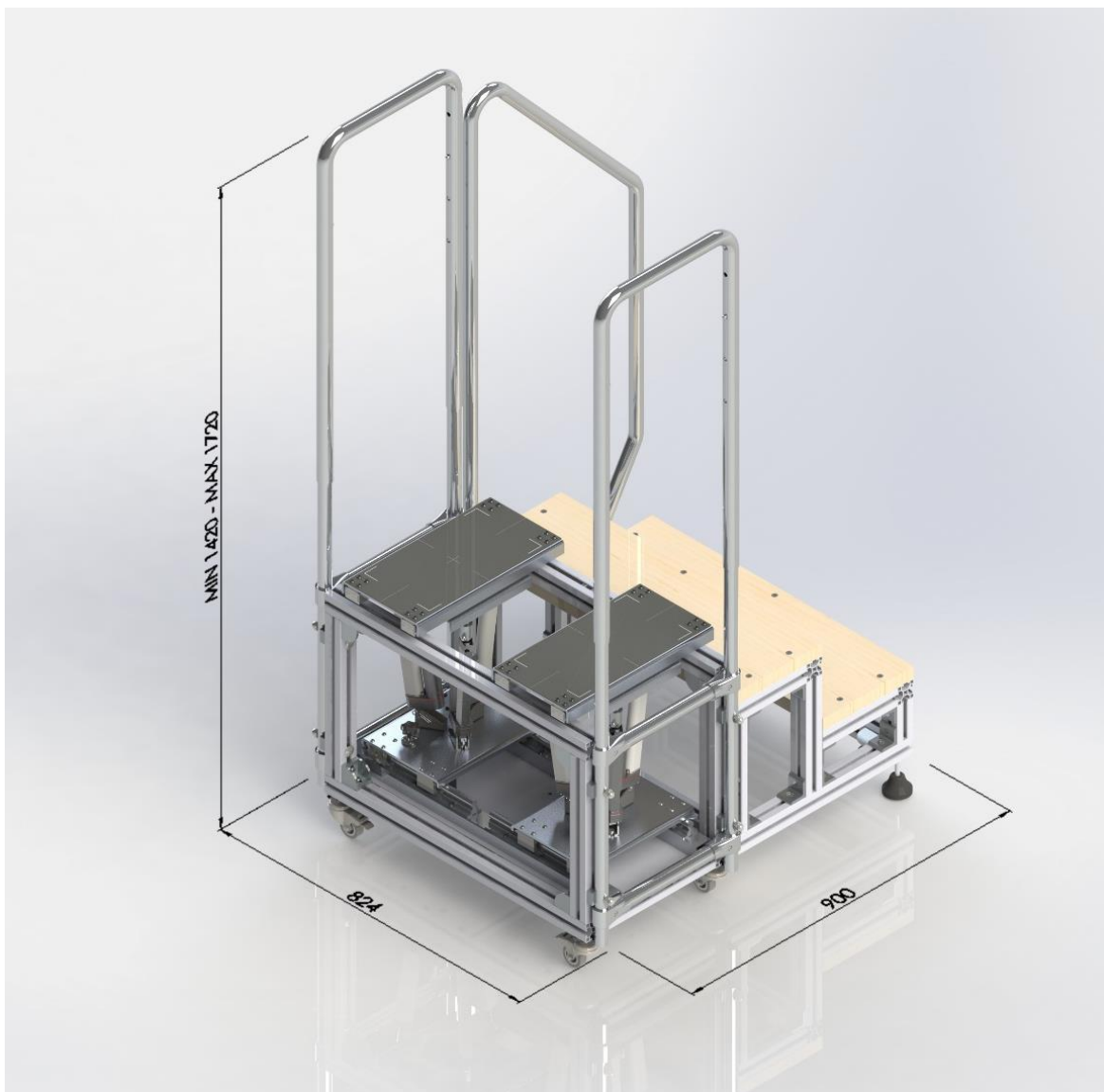


Podešavanje visine rukohvata

Verzija 2







Ukupne vanjske dimenzije uređaja iznose : Dužina 900 mm, Širina 824 mm, Visina min. 1420 mm, Visina max. 1720 mm.

Ostale dimenzije:

Vanjske dimenzije uređaja bez stepenica i rukohvata:

Dužina 400 mm, Širina 718 mm, Visina 531 mm.

Vanjske dimenzije stepenica bez rukohvata:

Dužina 500 mm, Širina 718 mm, Visina 390 mm.

Vanjske dimenzije uređaja s rukohvatom

Dužina 400 mm, Širina 792 mm, Visina min. 1420 mm, Visina max. 1720 mm

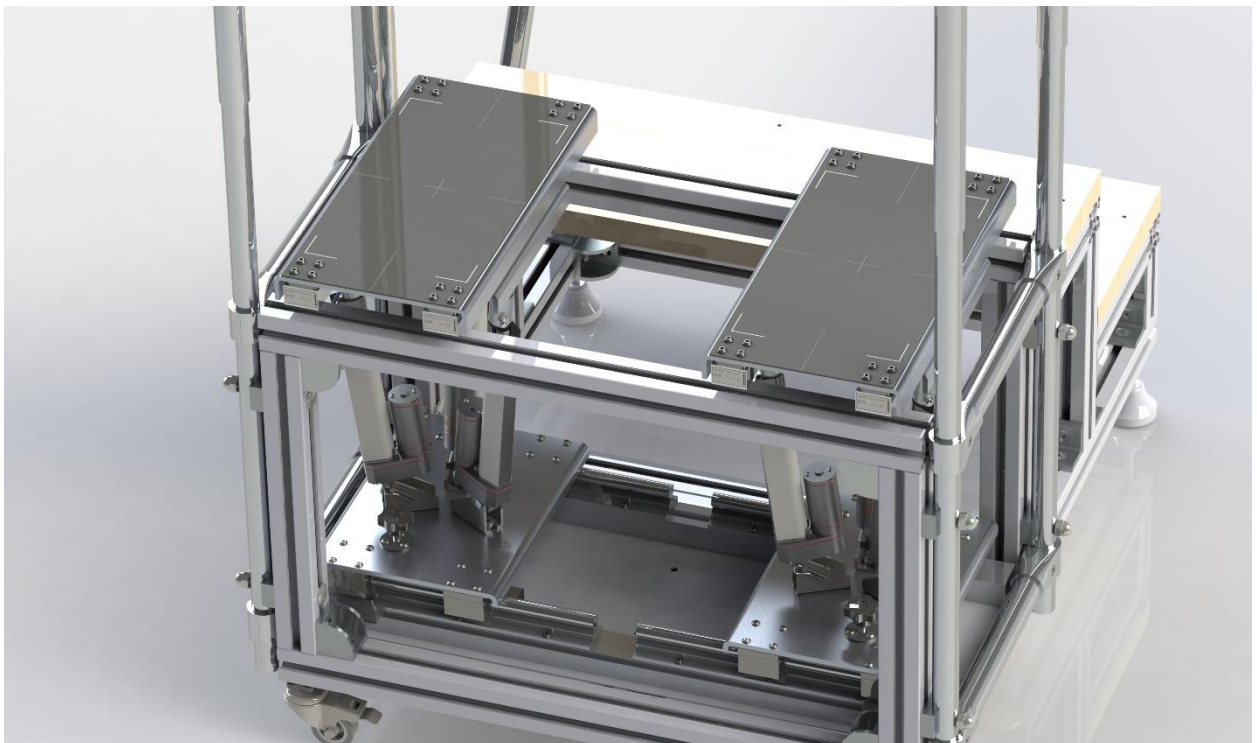
Napomena: Dimenzije ne uključuju visinu nivelirajućih nožica i kotača.

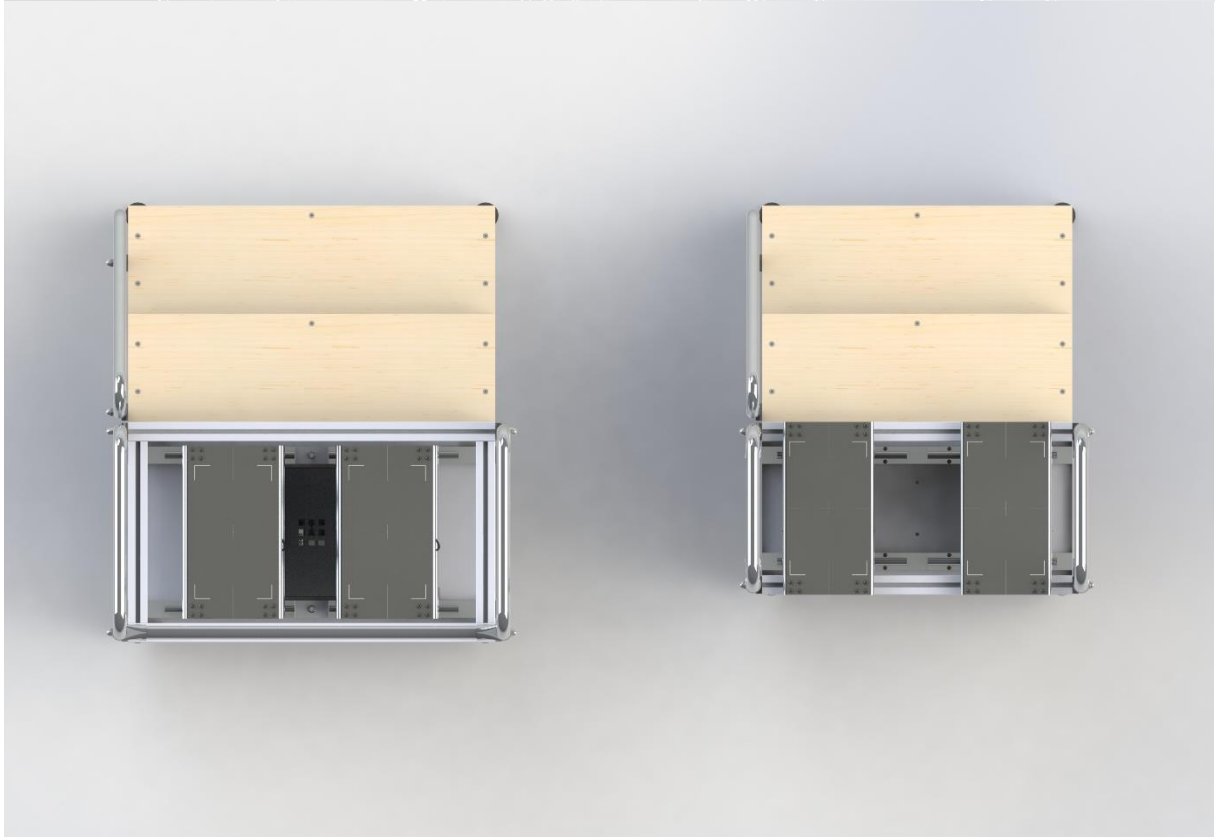
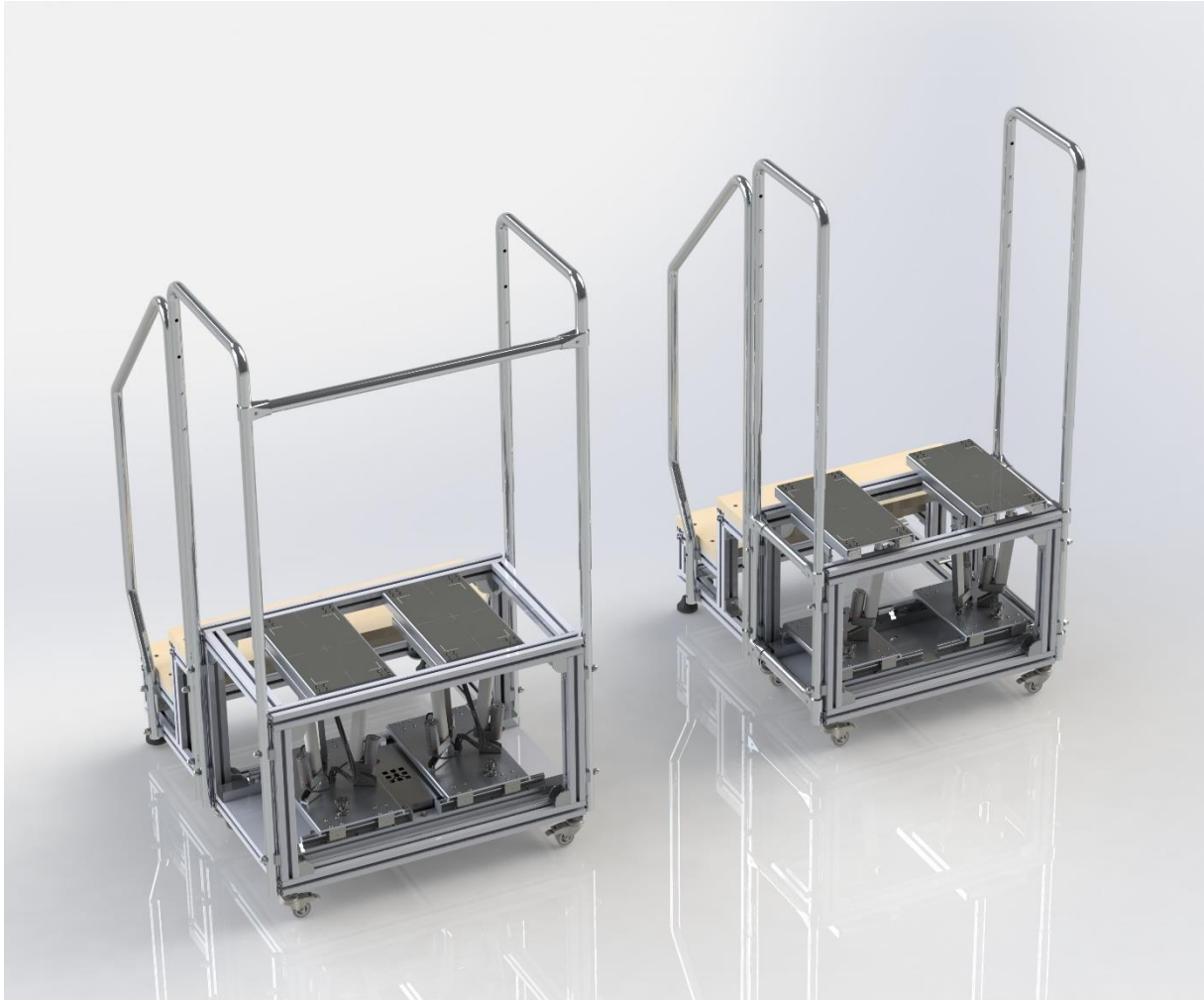


Platforme imaju mogućnost nagiba do 12° , a maksimalna razlika u visini platformi iznosi 150 *mm*. Maksimalna nosivost platformi iznosi 150 kg. Dimenzije gazišta platforme iznose 195x400 *mm*.



Platforme također imaju mogućnost podešavanja razmaka između središta stopala. Za drugu verziju minimalna moguća razlika je 23 cm, a maksimalna 47 cm.





Proračuni

Proračun vijka

Torban vijak M10 DIN 603/4.6 Zn

Opterećen na odrez (smik)

Presjek preko kojeg se prenosi naprezanje $A = 58,0 \text{ mm}^2$

Granica tečenja $R_{p0,2} = 480 \text{ MPa}$

Faktor sigurnosti $s=2$

Poprečna sila u jednome vijku $F_{max} = 3000 \text{ N}$

Dopušteno naprezanje;

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p0,2}}{s} = 240 \text{ MPa}$$

Vlačno naprezanje;

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} = 51,72 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Naprezanje na odrez;

$$\tau = \frac{F}{A} = 51,72 \text{ MPa}$$

Oba naprezanja sastavljaju se u ekvivalentno naprezanje;

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 103,44 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Imbus vijak M8 DIN 912/8.8, DIN 7984/8.8 čelik

Opterećenje na vlak i odrez (smik)

Presjek jezgre vijka $A = 32,8 \text{ mm}^2$

Poprečna sila u jednome vijku $F_{max} = 3000 \text{ N}$

Granica tečenja $R_{p0.2} = 640 \text{ MPa}$

Faktor sigurnosti $s = 1,5$

Dopuštena granica tečenja

$$\sigma_{dop} = \frac{640}{1,5} = 426,66 \text{ MPa}$$

Vlačno naprezanje;

$$\sigma_{dop} = \frac{F_{max}}{A} = 91,46 \text{ MPa} < \sigma_{dop} \text{ zadovoljava}$$

Naprezanje na odrez;

$$\tau_a = \frac{F}{A} = \frac{3000}{32,8} = 91,46 \text{ MPa}$$

Oba naprezanja sastavljaju se u ekvivalentno naprezanje;

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 182,92 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Imbus vijak M6 ISO 7380/10,9 čelik

Opterećenje na vlak

Presjek jezgre vijka $A = 17,9 \text{ mm}^2$

Poprečna sila u jednome vijku $F_{max} = 3000 \text{ N}$

Granica tečenja $R_{p0.2} = 900 \text{ MPa}$

Faktor sigurnosti $s = 1,5$

Dopuštena granica tečenja

$$\sigma_{dop} = \frac{900}{1,5} = 600 \text{ MPa}$$

Vlačno naprezanje;

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} = 167,59 \text{ MPa} < \sigma_{dop} \text{ zadovoljava}$$

Naprezanje na odrez;

$$\tau_a = \frac{F}{A} = \frac{3000}{17,9} = 167,59 \text{ MPa}$$

Oba naprezanja sastavljaju se u ekvivalentno naprezanje;

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 335,18 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Imbus vijak M5 ISO 7380/10.9 čelik

Opterećenje na vlak

Presjek jezgre vijka $A = 17,9 \text{ mm}^2$

Poprečna sila u jednome vijku $F_{max} = 3000 \text{ N}$

Granica tečenja $R_{p0,2} = 900 \text{ MPa}$

Faktor sigurnosti $s = 1,5$

Dopuštena granica tečenja

$$\sigma_{dop} = \frac{900}{1,5} = 600 \text{ MPa}$$

Vlačno naprezanje;

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} = 236,22 \text{ MPa} < \sigma_{dop} \text{ zadovoljava}$$

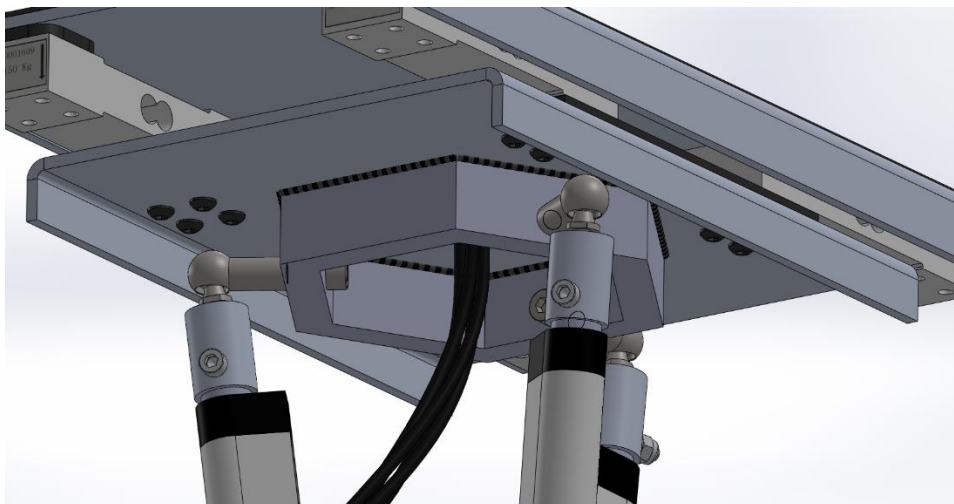
Naprezanje na odrez;

$$\tau_a = \frac{F}{A} = \frac{3000}{17,9} = 236,22 \text{ MPa}$$

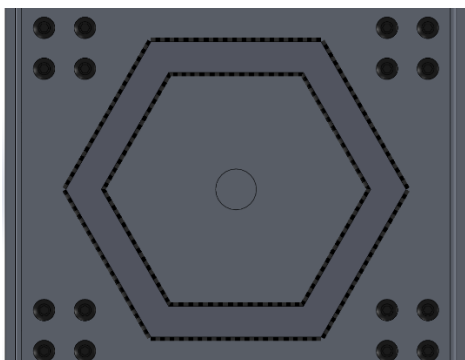
Oba naprezanja sastavljaju se u ekvivalentno naprezanje;

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 472,44 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Proračun zavora



Slika 8.1. Zavar



Slika 8.2. Tlocrt zavora

Vanjski zavar

Moment tromosti $I_x = 4618717,37 \text{ mm}^4$

$I_y = 4618717,37 \text{ mm}^4$

$F = 2000 \text{ N}$

Debljina lima 5 mm

$Y = 72,17 \text{ mm}$

$a = 3 \text{ mm}$

$$R' = \frac{44.165}{\cos \alpha} = 88,33 \text{ mm}^2$$

Površina zavora

$$A_z = \frac{n}{2} R'^2 \sin \alpha - \frac{n}{2} R^2 \sin \alpha$$

$$A_z = \frac{n}{2} \sin \alpha (R'^2 - R^2) = 8950,03 \text{ mm}^2$$

$$A_z = \frac{n}{2} \sin \alpha (R'^2 - R^2) = 8950,03$$

Naprezanje na vlak, tlak

$$\sigma = \frac{F}{A_z} = 0,223 \text{ MPa}$$

Savijanje

$$\sigma_F = \frac{F(-35)(72,17 + 3)}{4618717,37} = -1,139 \text{ MPa}$$

Sile pod kutom $F^H=1879,39 \text{ N}$ $F^V=684,04 \text{ N}$

Naprezanje vertikalno

$$\sigma^V = \frac{F_V(-35)}{I_x} y_o = -0,629 \text{ MPa}$$

Naprezanje na smik

$$\tau = \frac{F_h}{A_z} = 0,209 \text{ MPa}$$

Naprezanje horizontalno

$$\sigma_H = \frac{F^H(-35)(72,17 + 3)}{4618717,37} = -1,069 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje

$$\sigma_{max} = 1,362 \text{ MPa}$$

Minimalno naprezanje

$$\sigma_{min} = -0,916 \text{ MPa}$$

Ekvivalnetno naprezanje

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{ekv} = 1,409 < \sigma_{dop}$$

$$\sigma_{dop} = 5,239 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = 70 \text{ MPa}$$

$$R_{(-1)} = 0,4 \cdot 70 = 28 \text{ MPa}$$

$b_{zav} = 0,5$ Faktor kvalitete zavora

$\beta_K = 1,67$ Efektivni faktor koncentracije naprežanja zavora

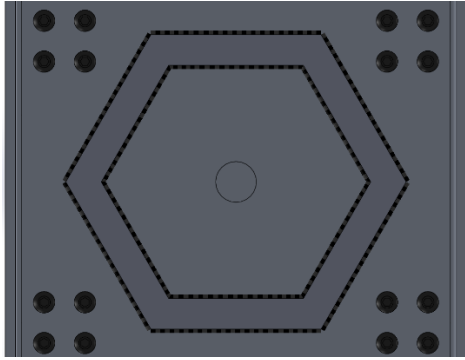
Trajna dinamička čvrstoća zavora

$$R_{D,zav} = \frac{R_{(-1)} \cdot b_{zv}}{\beta_K} = 8,38 \text{ MPa}$$

$v = 1,6$ Stupanj sigurnosti zavarenog spoja

Dopušteno normalno naprežanje dinamički opterećenog zavora

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{D,zav}}{v} = 5,239 \text{ MPa}$$



Slika 8.2. Tlocrt zavora

Unutarnji zavar

Moment tromosti $I_x = 1993646,79 \text{ mm}^4$

$I_y = 1993646,79 \text{ mm}^4$

$F = 2000 \text{ N}$

Debljina lima 5 mm

$Y = 57,17 \text{ mm}$

$a = 3 \text{ mm}$

$A_z = 1967,57 \text{ mm}^2$

Naprezanje na vlak, tlak

$$\sigma = \frac{F}{A_z} = 1,01 \text{ MPa}$$

Savijanje

$$\sigma_F = \frac{F(-35)(57,17 + 3)}{I_x} = -1,336 \text{ MPa}$$

Sile pod kutom $F^H = 1879,39 \text{ N}$ $F^V = 684,04 \text{ N}$

$$\sigma^V = \frac{F_V(-35)}{I_x} y_o = -0,434 \text{ MPa}$$

Naprezanje na smik

$$\tau = \frac{F_h}{A_z} = 0,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_F = \frac{F^H(-35)(72,17 + 3)}{4618717,37} = -1,256 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje

$$\sigma_{max} = 2.346 \text{ MPa}$$

Minimalno naprezanje

$$\sigma_{min} = -0.326 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau^2} = 2,871 < \sigma_{dop}$$

Katalozi proizvoda korištenih u mehaničkom sklopu

[illegible]

Dimenzije u mm		Težina ca. Kg/m ²	Al 99,5	Al Mg 3
LIMOVI rebrasti				
2 / 3		14	●	
2,5 / 3,5		16	●	
3 / 4		17	●	
4 / 5		25	●	
5 / 6		28	●	
LIMOVI perforirani				
1 x 1000 x 2000	Ø 2		●	
1 x 1000 x 2000	Ø 3		●	
1 x 1000 x 2000	Ø 5		●	
1 x 1000 x 2000	Ø 10		●	
1 x 1000 x 2000	□ 5x5		●	
1 x 1000 x 2000	□ 7x7		●	
2 x 1000 x 2000	Ø 3		●	
2 x 1000 x 2000	Ø 4		●	
LIMOVI istegnuti				
1 x 1000 x 4000	3x6	1,81	●	
1 x 1000 x 3000	3x10	2,42	●	
1 x 1000 x 4000	5x10	1,35	●	
1 x 1000 x 5000	6x16	1,21	●	
1 x 1000 x 5500	7x30	1,04	●	
TRAKE				
0,5 x 1000 x L		1,35	●	
0,6 x 1000 x L		1,65	●	
0,7 x 1000 x L		1,90	●	
0,8 x 1000 x L		2,20	●	
1,0 x 1000 x L		2,70	●	
FOLIJE				
0,025 x 1000 x L		0,067	●	
0,030 x 1000 x L		0,081	●	
0,040 x 1000 x L		0,108	●	
0,050 x 1000 x L		0,135	●	
0,080 x 1000 x L		0,216	●	
0,100 x 1000 x L		0,270	●	



Aluminij

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m	Al Mg Si 0,5	Al Cu BiPb
● ŠIPKE			
4	0,033	•	
5	0,058	•	
6	0,083	•	
7	0,104	•	
8	0,136	•	
10	0,212	•	
12	0,331	•	
13	0,358	•	
14	0,416	•	
15	0,477	•	
16	0,543	•	
17	0,649	•	
18	0,687	•	
19	0,766	•	
20	0,848	•	
22	1,030	•	
24	1,220	•	
25	1,330	•	
27	1,550	•	
28	1,660	•	
30	1,910	•	
32	2,170	•	
35	2,600	•	
36	2,750	•	
37	3,020	•	
38	3,220	•	
40	3,690	•	
42	3,390	•	
45	4,290	•	
47	4,680	•	
50	5,700	•	
55	6,910	•	
60	7,630	•	
65	8,950	•	
70	10,400	•	
80	13,600	•	
90	17,170	•	
100	21,200	•	
110	25,600	•	
120	30,520	•	
130	35,820	•	

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m	Al Mg Si 0,5	Al Cu BiPb
● ŠIPKE			
140	43,140	•	
150	49,460	•	
160	54,300	•	
170	63,600	•	
180	71,200	•	
200	85,000	•	
250	135,000	•	
300	208,000	•	
● ŠIPKE			
17	0,675	•	
19	0,875	•	
20	0,935	•	
22	1,230	•	
24	1,346	•	
27	1,704	•	
30	2,104	•	
32	2,304	•	
■ ŠIPKE			
10x10	0,270	•	
20x20	1,060	•	
30x30	2,700	•	
40x40	4,350	•	
50x50	6,800	•	
60x60	9,800	•	
70x70	13,300	•	
80x80	17,300	•	
90x90	22,000	•	
100x100	27,000	•	
■ ŠIPKE			
10 x 4	0,108	•	
20 x 3	0,162	•	
20 x 5	0,270	•	
20 x 10	0,540	•	
25 x 5	0,338	•	
30 x 3	0,243	•	
30 x 5	0,405	•	
30 x 10	0,850	•	
40 x 5	0,540	•	
40 x 10	1,080	•	

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m	Al Cu 5 Pb Bi	Al Mg Si 0,5
■ ŠIPKE			
50 x 5	0,675	•	
50 x 10	1,350	•	
100 x 10	2,700	•	
L PROFILI			
10 x 10 x 1,5	0,076	•	
15 x 15 x 1,5	0,117	•	
20 x 20 x 2	0,207	•	
25 x 25 x 2	0,262	•	
30 x 30 x 2	0,330	•	
30 x 30 x 3	0,466	•	
40 x 40 x 4	0,828	•	
50 x 50 x 5	1,300	•	
60 x 60 x 6	1,865	•	
10 x 15 x 1,5	*0,120	•	
20 x 30 x 2	*0,280	•	
40 x 20 x 2	*0,330	•	
80 x 80 x 4	1,648	•	
80 x 80 x 6	2,246	•	
100 x 100 x 10	5,400	•	
L PROFILI			
10 x 10 x 1,5	0,111	•	
15 x 15 x 1,5	0,170	•	
20 x 20 x 2	0,300	•	
T PROFILI			
20 x 20 x 2	0,210	•	
25 x 25 x 2	0,450	•	
30 x 30 x 2	0,500	•	



Aluminij

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m	Al Mg Si 0,5	Al Cu BiPb
PROFILI razni			
0104	0,250	•	
0106	0,240	•	
1155	0,190	•	
1156	0,380	•	
1157	0,380	•	
1301	0,310	•	
1318	0,208	•	
3235	1,050	•	
3335	1,050	•	
4138-0	0,800	•	
3439	0,320	•	
1793-F	1,400	•	

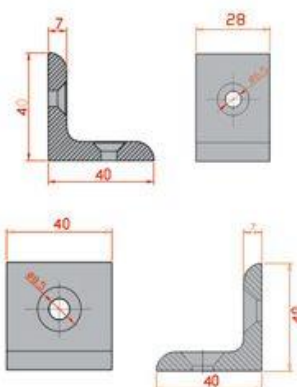
○ CIJEVI			
8 x 1,0	0,060	•	
10 x 1,5	0,107	•	
10 x 2,0	0,140	•	
12 x 1,0	0,093	•	
14 x 1,0	0,110	•	
14 x 1,5	0,150	•	
16 x 1,0	0,130	•	
16 x 1,5	0,180	•	
18 x 1,0	0,144	•	
20 x 1,0	0,170	•	
20 x 1,5	0,235	•	
20 x 2,0	0,330	•	
20 x 1,0	0,200	•	
22 x 1,5	0,261	•	
25 x 1,0	0,204	•	
25 x 1,5	0,300	•	
25 x 2,0	0,390	•	
25 x 2,5	0,477	•	
30 x 1,5	0,363	•	
30 x 2,5	0,583	•	
30 x 3,0	0,687	•	
32 x 2,0	0,540	•	
35 x 1,5	0,426	•	
35 x 3,0	0,860	•	
40 x 2,0	0,645	•	
40 x 3,0	0,942	•	
45 x 2,5	0,901	•	
50 x 2,0	0,819	•	

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m	Al Mg Si 0,5	Al Cu BiPb
○ CIJEVI			
50 x 2,5	1,010	•	
50 x 4,0	1,560	•	
55 x 2,5	1,110	•	
60 x 2,5	1,219	•	
70 x 2,0	1,150	•	
70 x 2,5	1,620	•	
80 x 7,5	1,760	•	
90 x 3,0	2,310	•	
90 x 5,0	3,850	•	
100 x 3,0	2,590	•	
100 x 5,0	4,030	•	
150 x 10,5	12,700	•	

□ CIJEVI			
10 x 10 x 1,5	0,127	•	
10 x 10 x 2,0	0,170	•	
15 x 15 x 1,5	0,290	•	
20 x 20 x 2,0	0,380	•	
25 x 25 x 2,0	0,520	•	
30 x 30 x 2,0	0,604	•	
40 x 40 x 2,0	0,812	•	
40 x 40 x 4,0	1,497	•	
50 x 50 x 3,0	1,600	•	
60 x 60 x 3,0	1,940	•	
70 x 70 x 3,0	2,990	•	
80 x 80 x 3,0	2,500	•	
90 x 90 x 3,0	3,600	•	
100 x 100 x 4,0	4,360	•	

□ CIJEVI			
18 x 12 x 1,0	0,160	•	
20 x 10 x 2,0	0,300	•	
30 x 15 x 2,0	0,470	•	
40 x 20 x 2,0	0,640	•	
40 x 30 x 2,0	0,750	•	
50 x 30 x 2,0	0,850	•	
60 x 40 x 2,0	1,040	•	
80 x 40 x 2,5	1,270	•	
100 x 50 x 2,0	1,580	•	

Spojnice za konstrukcije



naziv:	Sigma spoj 53/A
šifra:	53/A
obrada:	eloksiran
za širinu profila:	45mm
cijena:	18,00kn/kom + pdv

skladište da/ne: artikl je raspoloživ i na skladištu



naziv:	Sigma spoj 55
šifra:	55
obrada:	sirovi aluminij
za širinu profila:	45mm
cijena:	18,00 kn/kom + pdv
skladište da/ne:	artikl je raspoloživ i na skladištu



naziv:	Sigma spoj 54/G
šifra:	54/G
obrada:	sirovi aluminij
za širinu profila:	45mm
cijena:	18,00kn/kom + pdv

skladište da/ne: artikl je raspoloživ i na skladištu

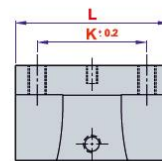
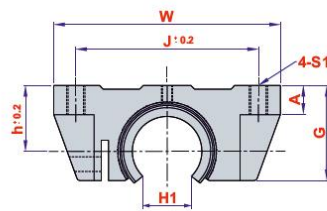
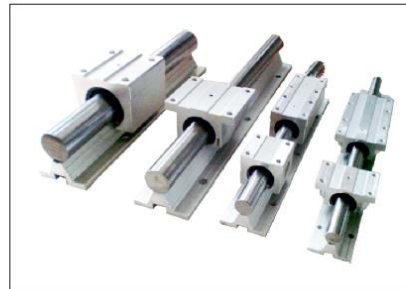


naziv:	Sigma spoj 32
šifra:	32
obrada:	pocinčano željezo
za širinu profila:	45mm
cijena:	32,00kn/kom + pdv

skladište da/ne: artikl je raspoloživ i na skladištu

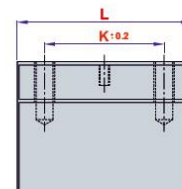
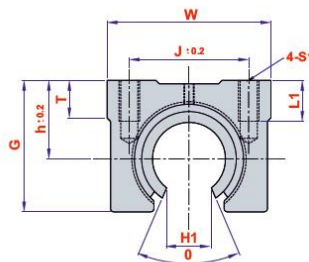


naziv:	Matica nazubljena
šifra:	41
obrada:	pocinčano
za širinu profila:	45mm
cijena:	3,00 kn/kom + pdv
skladište da/ne:	artikl je raspoloživ i na skladištu

TBR

Code	Type	Product Name (mm)									Loading Capacity (kgf)		Weight (g)
		W	G	A	L	S1	J	K	h	H1	Dynamic	Static	
4.009.013.16.01	TBR 16	62	26	8	42	M5	50	30	18	11	392	490	0.18
4.009.013.20.01	TBR 20	68	31	10	51	M6	54	37	21	11	784	1176	0.30
4.009.013.25.01	TBR 25	82	41	12	65	M8	65	50	28	12	1568	2352	0.60
4.009.013.30.01	TBR 30	91	48	12	75	M8	75	60	34	15	1764	2940	0.90

± 1.5mm

SBR

Code	Type	Dimensions (mm)									Loading Capacity (kgf)		Weight (g)
		W	G	L1	L	S1	J	K	h	H1	Dynamic	Static	
4.009.012.12.01	SBR 12	40	27,6	10	39	M5	28	26	17	7.5	510	784	100
4.009.012.16.01	SBR 16	45	33	10	45	M5	32	30	20	11	774	1180	150
4.009.012.20.01	SBR 20	48	39	12	50	M6	35	35	23	11	882	1370	200
4.009.012.25.01	SBR 25	60	47	13	65	M6	40	40	27	12	980	1570	450
4.009.012.30.01	SBR 30	70	56	16	70	M8	50	50	33	15	1570	2740	630
4.009.012.40.01	SBR 40	90	72	20	90	M10	65	65	42	20	2160	4020	1330



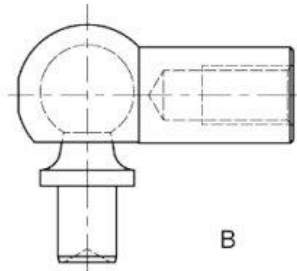
without circlip

with circlip

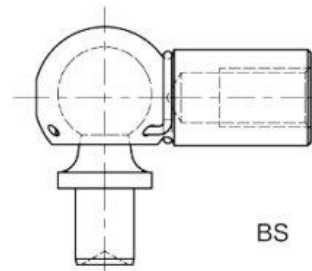
mbo standard 03

Form

B and BS
rivet stud

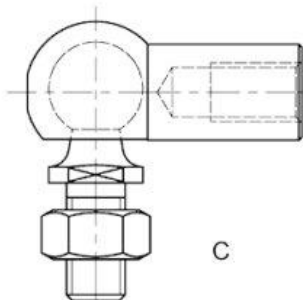


B

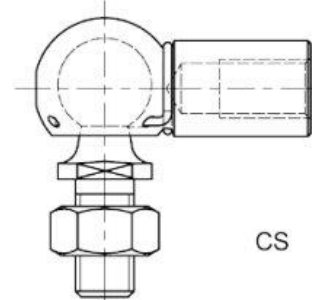


BS

C and CS
ball stud with
spanner surface



C



CS

Joint components:

Quantity form				Designation	Identifier for ball diameter d1					
B	BS	C	CS		6	8	10	13	16	19
-	-	-	-	Ball studs according to DIN 71803	-	A 8	A 10	A 13	A 16	A 19
1	1	-	-		B 6 x 3,5	B 8 x 4 B 8 x 7,5	B 10 x 4,5 B 10 x 8	B 13 x 5 B 13 x 10	B 16 x 6 B 16 x 13	B 19 x 12 B 19 x 18
-	-	1	1		C 6 ²⁾	C 8	C 10	C 13	C 16	C 19
1	-	1	-	Ball socket according to DIN 71805	A 6	A 8	A 10	A 13	A 16	A 19 ¹⁾
-	1	-	1		-	B 8	B 10	B 13	B 16	B 19 ¹⁾
-	1	-	1	Circlip according to DIN 71805	-	S 8	S 10	S 13	S 16	S 19
-	-	1	1	Hexagonal nut DIN 934 min. tensile strength class 6 is supplied loose	M 4	M 5	M 6	M 8	M10 M12*	M 14x1.5 M 14* M 16*

* similar to DIN 71802

1) the manufacturer reserves the right to supply the ball socket with or without spanner surface

2) similar to DIN 71803

Special versions upon request

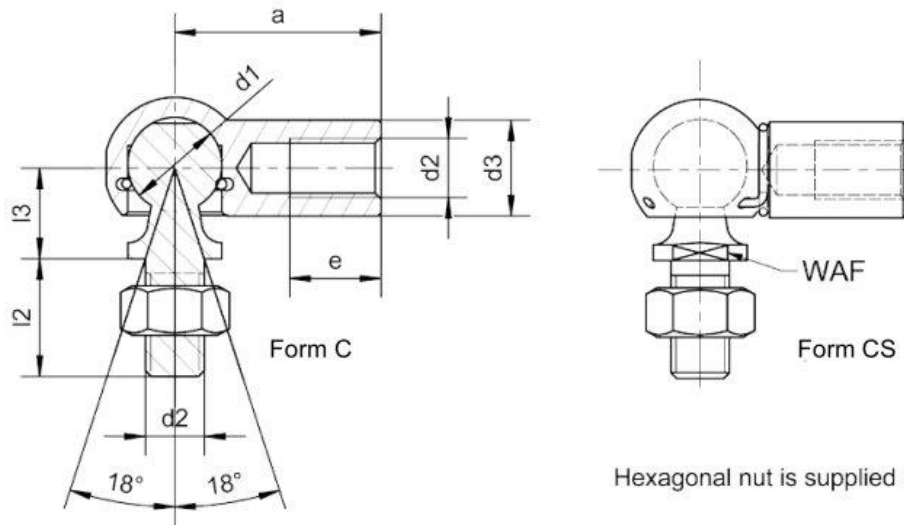
16_01
07/2012

mbo Osswald GmbH & Co KG
Metal processing · Linking technology

www.mbo-osswald.com · info@mbo-osswald.de
Tel: + 49 (0) 9345-670-0 · Fax: + 49 (0) 9345-6255



General tolerances
DIN ISO 2768-medium
Subject to technical
alterations
We accept no responsibility for
incorrect or incomplete details or
information given



Angle joint with threaded stud according to DIN 71802 form C

Identifier	Order number	d1 H9/h9	d2	d3	l2 ±0.3	l3 ±0.3	a ±0.3	e min.	WAF	Mass (kg) per piece
C 6 M 4	10 03 4006 8001/...	6	M 4	7	8.5	8.5	22	10.2	5	0.010
C 8 M 5	10 03 4008 8001/...	8	M 5	8	10.2	9	22	10.2	7	0.015
C 10 M 6	10 03 4010 8001/...	10	M 6	10	12.5	11	25	11.5	8	0.025
C 13 M 8	10 03 4013 8001/...	13	M 8	13	16.5	13	30	14	11	0.053
C 16 M 10	10 03 4016 8001/...	16	M 10	16	20	16	35	15.5	13	0.104
C 16 M 12	10 03 4016 8121/...	16	M 12	16	20	16	35	15.5	13	0.104
C 19 M 14	10 03 4019 8001/...	19	M 14	22	28	20	45	21.5	16	0.221
C 19 M 14x1.5	16 03 4019 8001/...	19	M 14x1.5	22	28	20	45	21.5	16	0.221
C 19 M 16	10 03 4019 8161/...	19	M 16	22	28	20	45	21.5	16	0.221

Angle joint with threaded stud according to DIN 71802 form CS

Identifier	Order number	d1 H9/h9	d2	d3	l2 ±0.3	l3 ±0.3	a ±0.3	e min.	WAF	Mass (kg) per piece
CS 8 M 5	10 03 4408 8002/...	8	M 5	8	10.2	9	22	10.2	7	0.015
CS 10 M 6	10 03 4410 8002/...	10	M 6	10	12.5	11	25	11.5	8	0.025
CS 13 M 8	10 03 4413 8002/...	13	M 8	13	16.5	13	30	14	11	0.053
CS 16 M 10	10 03 4416 8002/...	16	M 10	16	20	16	35	15.5	13	0.104
CS 16 M 12	10 03 4416 8122/...	16	M 12	16	20	16	35	15.5	13	0.104
CS 19 M 14	10 03 4419 8002/...	19	M 14	22	28	20	45	21.5	16	0.221
CS 19 M 14x1.5	16 03 4419 8002/...	19	M 14x1.5	22	28	20	45	21.5	16	0.221
CS 19 M 16	10 03 4419 8162/...	19	M 16	22	28	20	45	21.5	16	0.221

Material:

Ball stud: steel, minimum tensile strength $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$

Ball socket: steel, min. tensile strength $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$

alternative: stainless steel 1.4305 (X8CrNiS18-9)

(supplement to order number .../000)

stainless steel 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)

(supplement to order number .../4404)

Snap ring and circlip: stainless steel

Surface protection:

Identifier	Supplement to order number
bright	.../003
phosphatised oiled	.../002
electr. galvanised white (layer min. 5 µm)	.../013
electr. galvanised yellow (layer min. 5 µm)	.../023

Special versions upon request

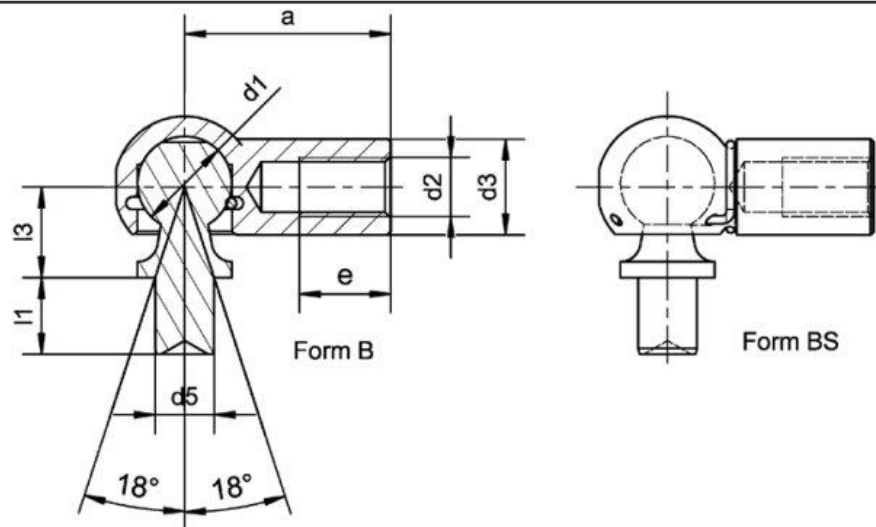


16_03
12/2012

mbo Osswald GmbH & Co KG

Metal processing · Linking technology

www.mbo-osswald.com · info@mbo-osswald.de
Tel: + 49 (0) 9345-670-0 · Fax: + 49 (0) 9345-6255



Angle joint with rivet stud according to DIN 71802 form B

Identifier	Order number	d1 H9/h9	d2	d3	d5 h11	l1 ±0.2	l3 ±0.3	a ±0.3	e Min.	Mass (kg) per piece
B 6 x 3.5	10 03 1033 1006/...	6	M 4	7	4	3.5	8.5	22	10.2	0.010
B 8 x 4	10 03 1033 1008/...	8	M 5	8	5	4	9	22	10.2	0.013
B 8 x 7.5	10 03 1033 2008/...	8	M 5	8	5	7.5	9	22	10.2	0.013
B 10 x 4.5	10 03 1033 1010/...	10	M 6	10	6	4.5	11	25	11.5	0.021
B 10 x 8	10 03 1033 2010/...	10	M 6	10	6	8	11	25	11.5	0.022
B 13 x 5	10 03 1033 1013/...	13	M 8	13	8	5	13	30	14	0.043
B 13 x 10	10 03 1033 2013/...	13	M 8	13	8	10	13	30	14	0.045
B 16 x 6	10 03 1033 1016/...	16	M 10	16	10	6	16	35	15.5	0.082
B 16 x 13	10 03 1033 2016/...	16	M 10	16	10	13	16	35	15.5	0.087
B 19 x 12	10 03 1033 1019/...	19	M 14	22	14	12	20	45	21.5	0.181
B 19 x 18	10 03 1033 2019/...	19	M 14	22	14	18	20	45	21.5	0.189

Angle joint with rivet stud according to DIN 71802 form BS

Identifier	Order number	d1 H9/h9	d2	d3	d5 h11	l1 ±0.2	l3 ±0.3	a ±0.3	e Min.	Mass (kg) per piece
BS 8 x 4	10 03 1333 1008/...	8	M 5	8	5	4	9	22	10.2	0.013
BS 8 x 7.5	10 03 1333 2008/...	8	M 5	8	5	7.5	9	22	10.2	0.013
BS 10 x 4.5	10 03 1333 1010/...	10	M 6	10	6	4.5	11	25	11.5	0.021
BS 10 x 8	10 03 1333 2010/...	10	M 6	10	6	8	11	25	11.5	0.022
BS 13 x 5	10 03 1333 1013/...	13	M 8	13	8	5	13	30	14	0.043
BS 13 x 10	10 03 1333 2013/...	13	M 8	13	8	10	13	30	14	0.045
BS 16 x 6	10 03 1333 1016/...	16	M 10	16	10	6	16	35	15.5	0.082
BS 16 x 13	10 03 1333 2016/...	16	M 10	16	10	13	16	35	15.5	0.087
BS 19 x 12	10 03 1333 1019/...	19	M 14	22	14	12	20	45	21.5	0.181
BS 19 x 18	10 03 1333 2019/...	19	M 14	22	14	18	20	45	21.5	0.189

Material:

Ball stud: steel, minimum tensile strength $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$

Ball socket: steel, min. tensile strength $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$

alternative: stainless steel 1.4305 (X8CrNiS18-9)

(supplement to order number .../000)

stainless steel 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)

(supplement to order number .../4404)

Snap ring and circlip: stainless steel



Surface protection:

Identifier	Supplement to order number
bright	.../003
phosphatised oiled	.../002
electr. galvanised white (layer min. 5 µm)	.../013
electr. galvanised yellow (layer min. 5 µm)	.../023

Special versions upon request



16_02
12/2012

mbo Osswald GmbH & Co KG

Metal processing · Linking technology

www.mbo-osswald.com · info@mbo-osswald.de
Tel: + 49 (0) 9345-670-0 · Fax: + 49 (0) 9345-6255

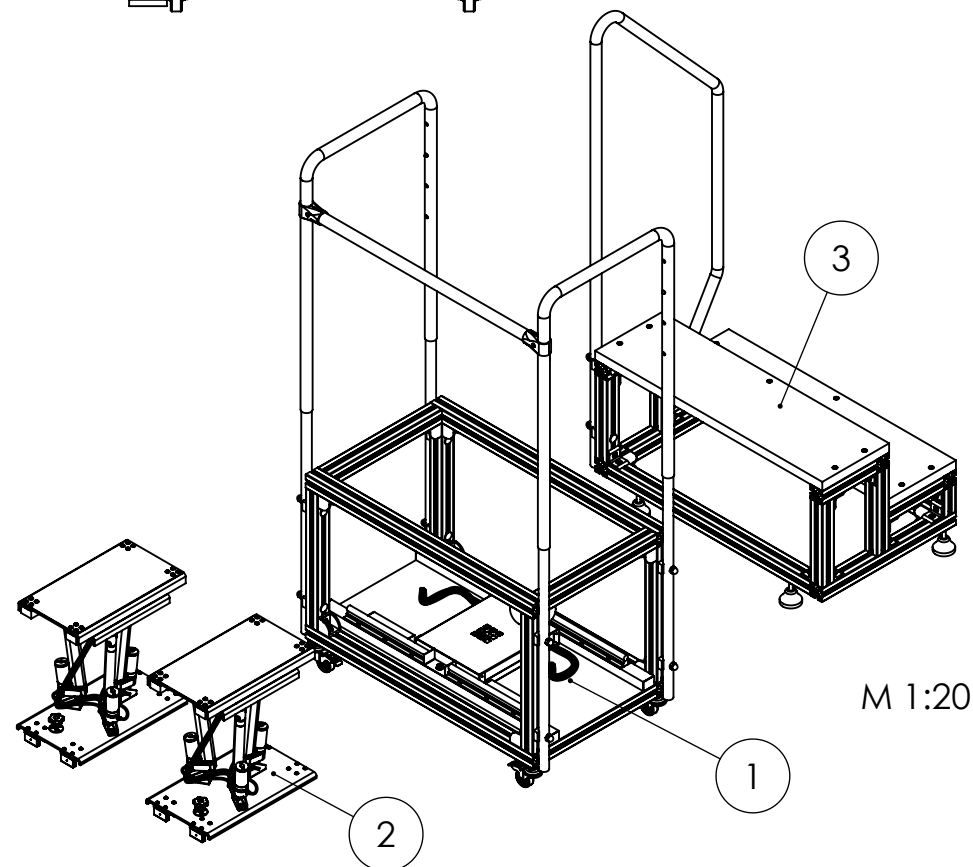
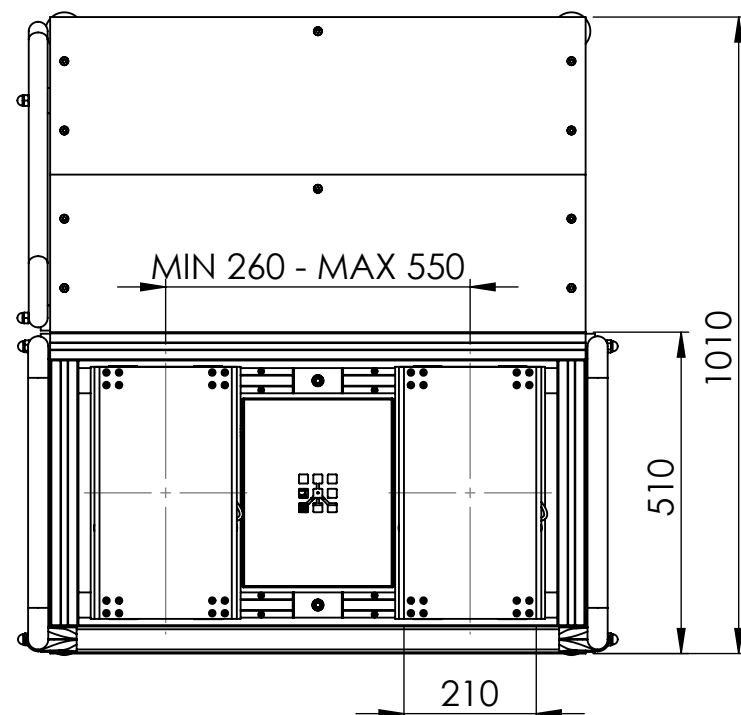
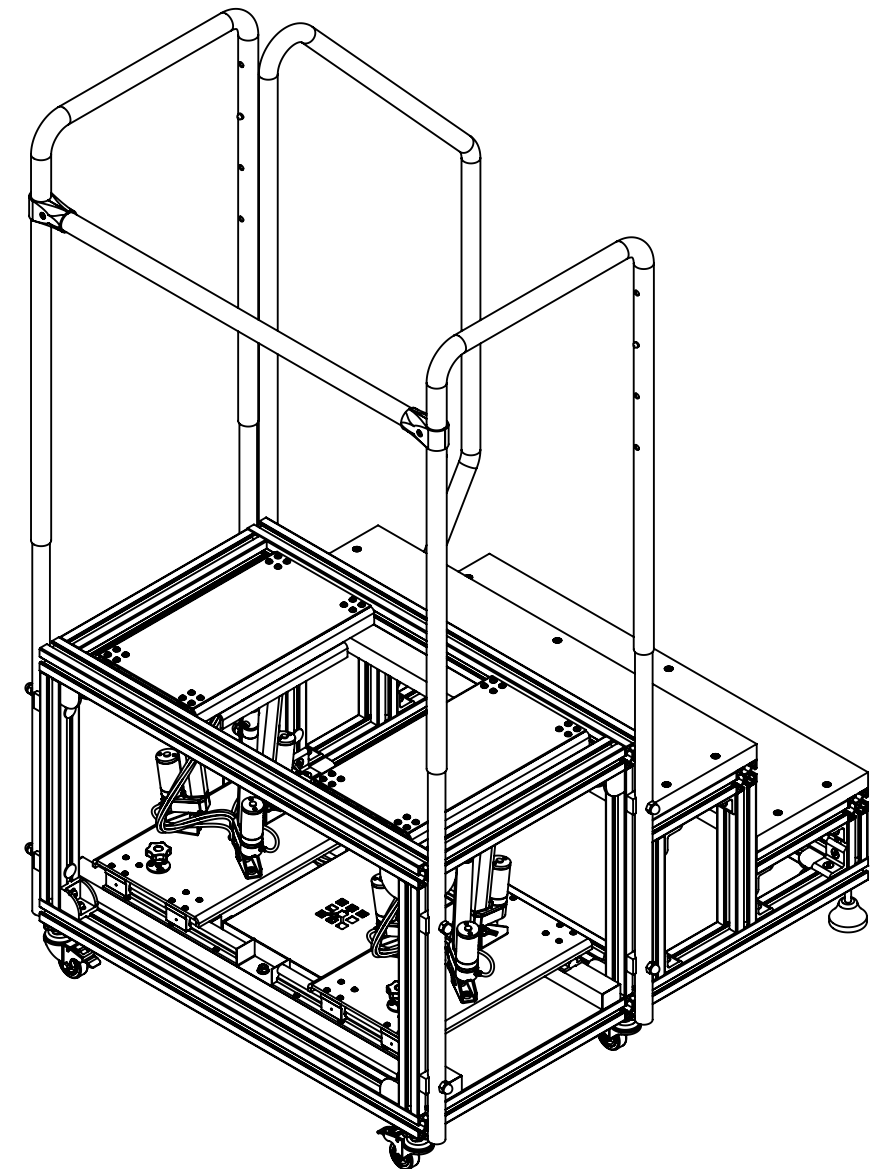
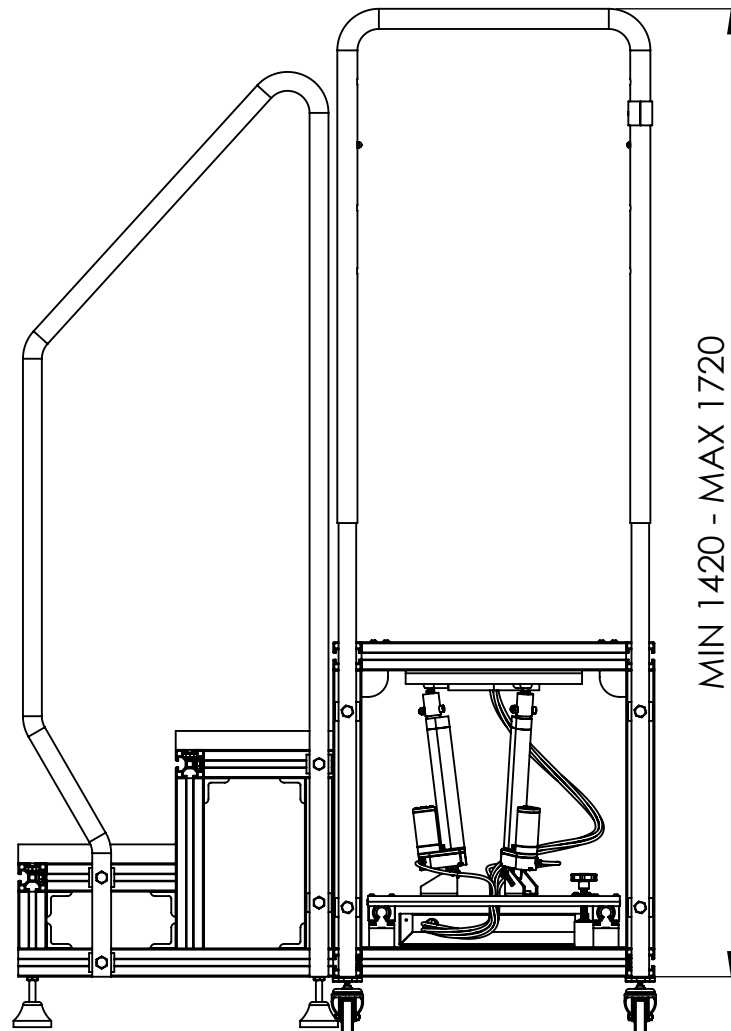
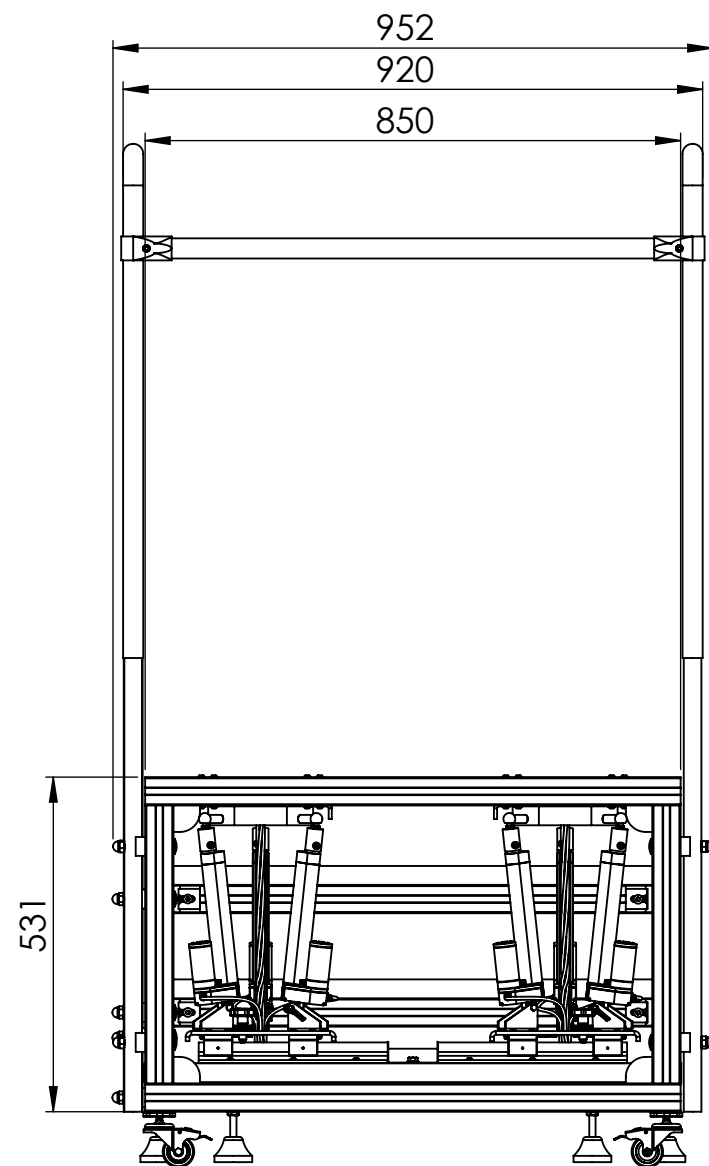


General tolerances
DIN ISO 2768-medium

Subject to technical
alterations

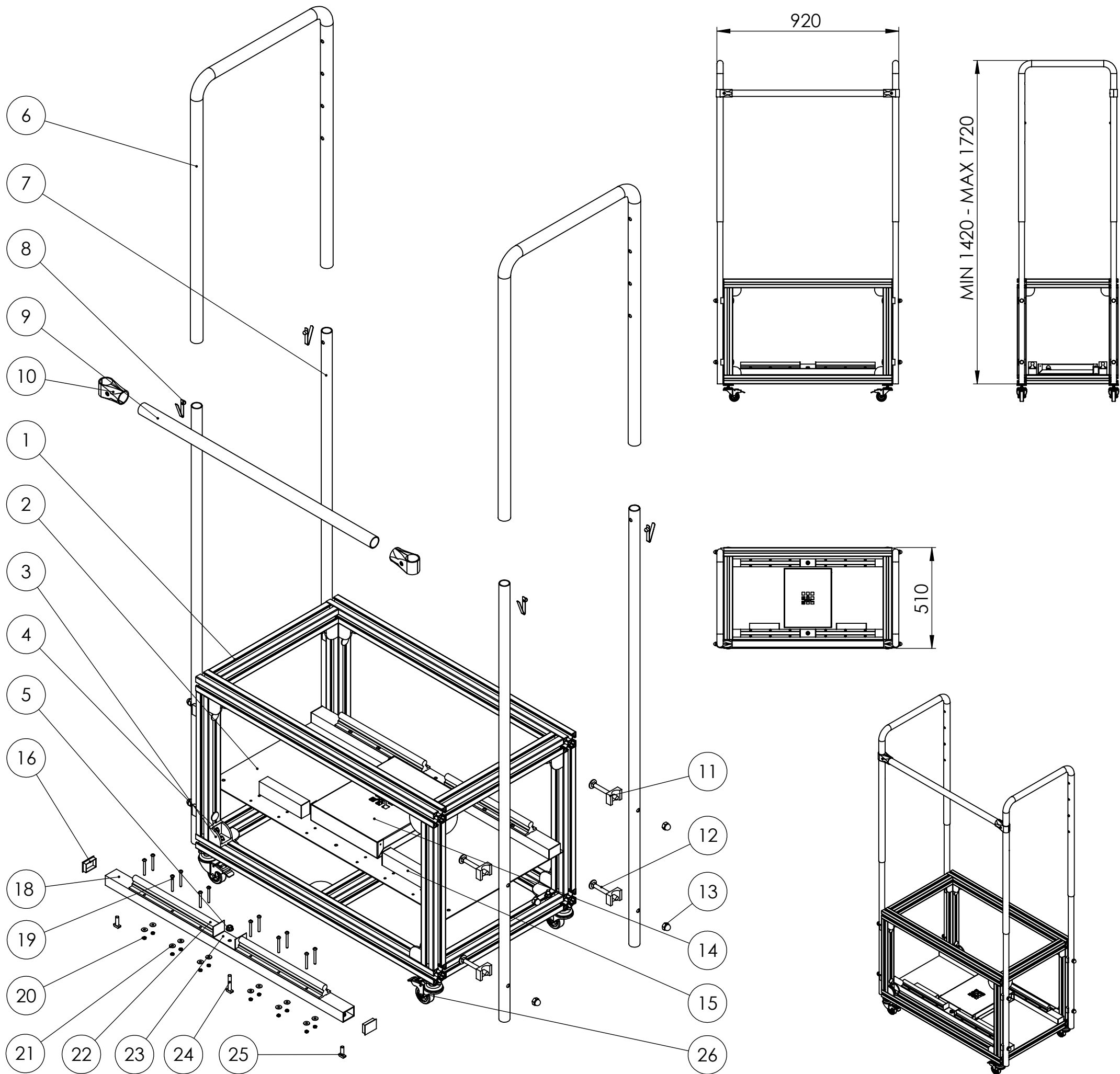
We accept no responsibility for
incorrect or incomplete details or
information given

2D dokumentacija dijelova za izradu mehaničkog sklopa



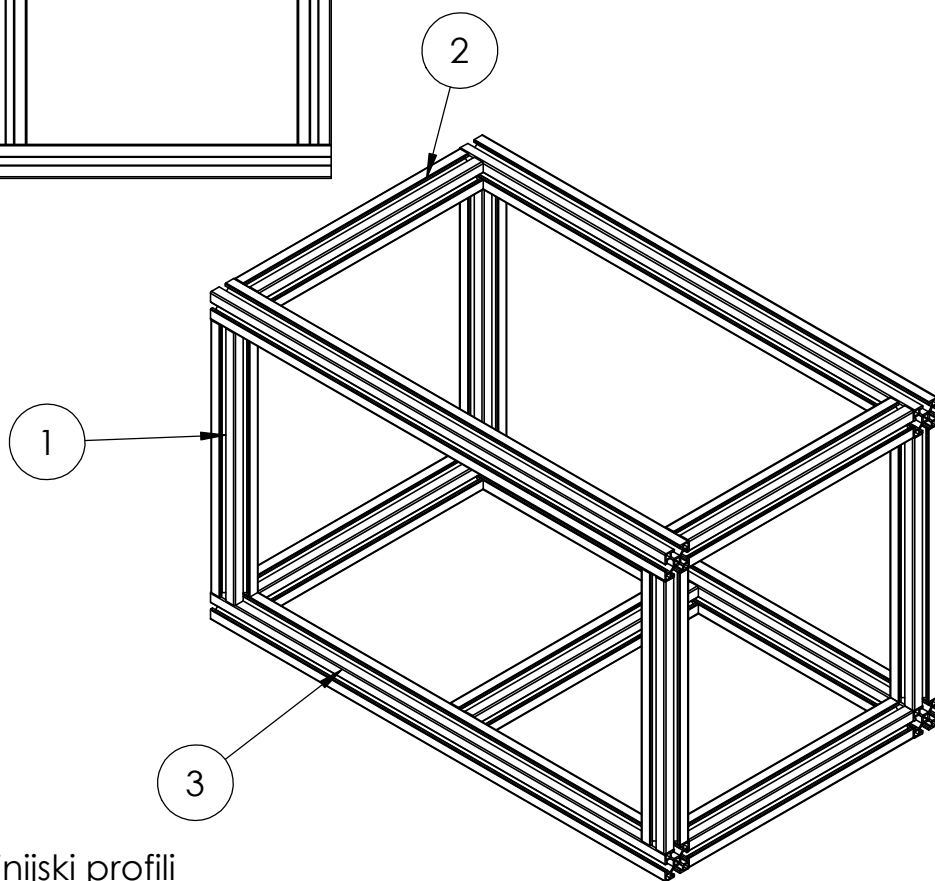
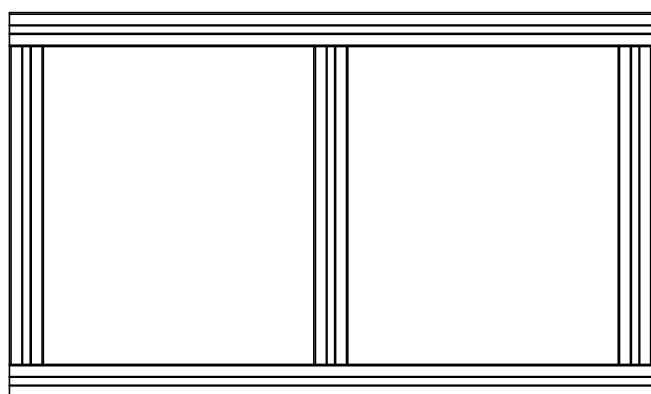
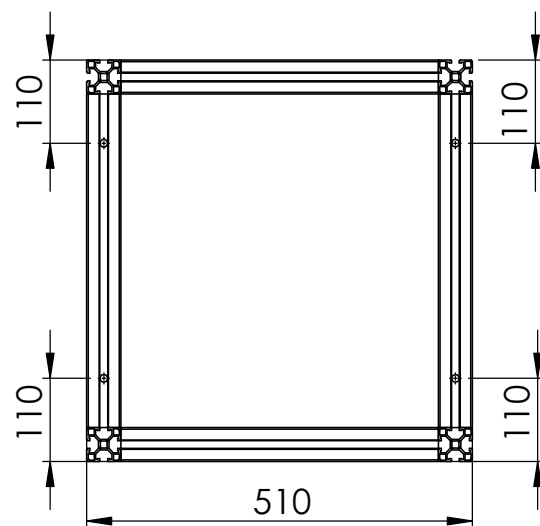
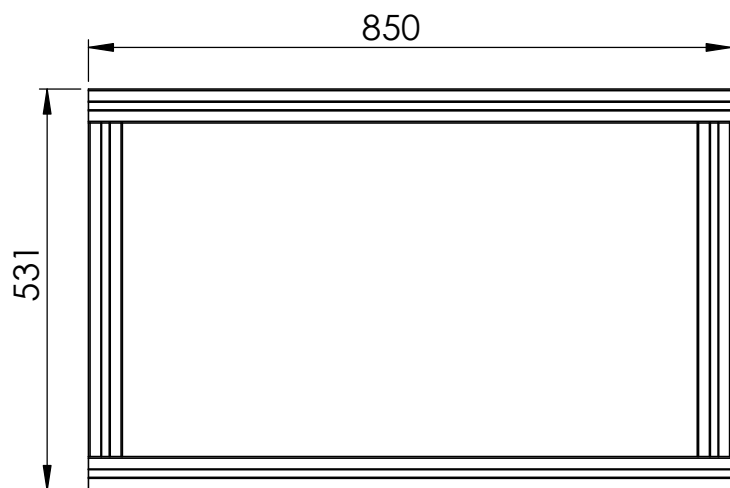
REDNI BROJ	NAZIV DIJELA	KOLIČINA
1	KUČIŠTE	1
2	PLATFORMA	2
3	STEPENICE	1

Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv	PROTOTIP MEHANIČKOG SKLOPA ZA DINAMIČKU EVALUACIJU DRŽANJA LJUDSKOG TIJELA - VERZIJA 1		
Naziv konfiguracije			
M 1:12 (1:20)		SHEET 1 OF 1	A3



REDNI BROJ	NAZIV DIJELA	KOLIČINA
1	KONSTUKCIJA ZA KUČIŠTE	1
2	GLAVNA PODLOGA	1
3	SIGMA SPOJ G55	18
4	DIN 6912/8.8_M8x20mm	36
5	MATICA S DOSJEDOM M8	42
6	RUHOHVAT POMIČNI DIO	2
7	RUHOHVAT STATIČNI DIO	4
8	SPRING SNAP CLIP	4
9	ALUMINIJSKA CIJEV Ø32x2x850	1
10	STEZALJKA ZA CIJEVI 32 mm	2
11	RAZDJELNIK ZA RUKOHVATE	4
12	DIN 6603/4.6 Zn_M10X80mm	4
13	SLIJEP MATICA M8	4
14	KUČIŠTE ZA ELEKTRONIKU	1
15	PRAVOKUTNA CIJEV ZA KOČNICE 40x30x150	2
16	POKLOPCI	8
17	ISO 7380/10.9_M5x10mm	4
18	PRAVOKUTNA CIJEV 40X30X850	2
19	ISO 7380/10.9_M5x45	24
20	DIN 439_M5	28
21	PODLOŽAK M5	28
22	LINEARNE VODILICE Ø 16x300	4
23	KRAJNICI	2
24	DIN 186/4.6_M8x45	2
25	DIN 186/4.6_M8x25	4
26	NIVELIRAJĆI KOTAČI	4

Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv	KUČIŠTE SKLOPA		
Naziv konfiguracije			
M 1:10 (1:20)		SHEET 1 OF 1	A3

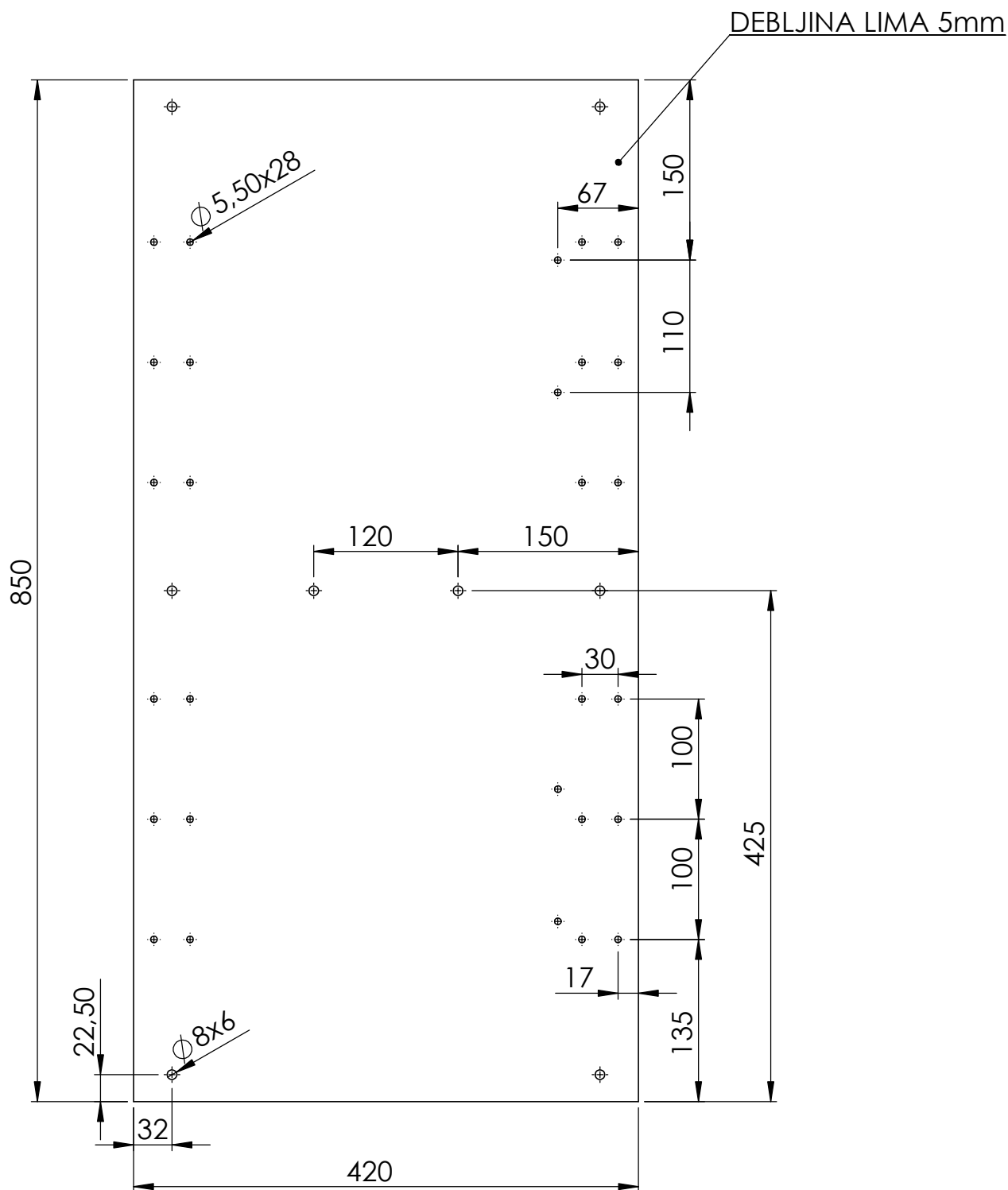


NAPOMENA:

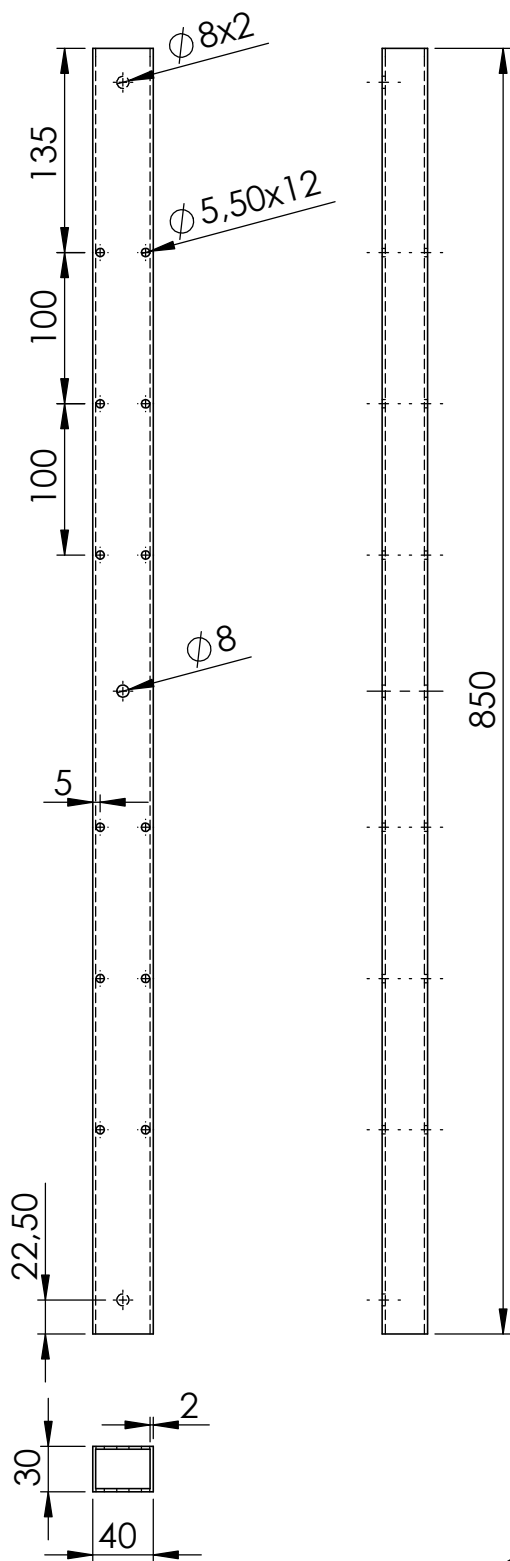
Korišteni sigma aluminijski profili
dimenzija 45x45 mm

BROJ KOMPONENTE	KOLIČINA	DUŽINA
1	4	441
2	5	420
3	4	850

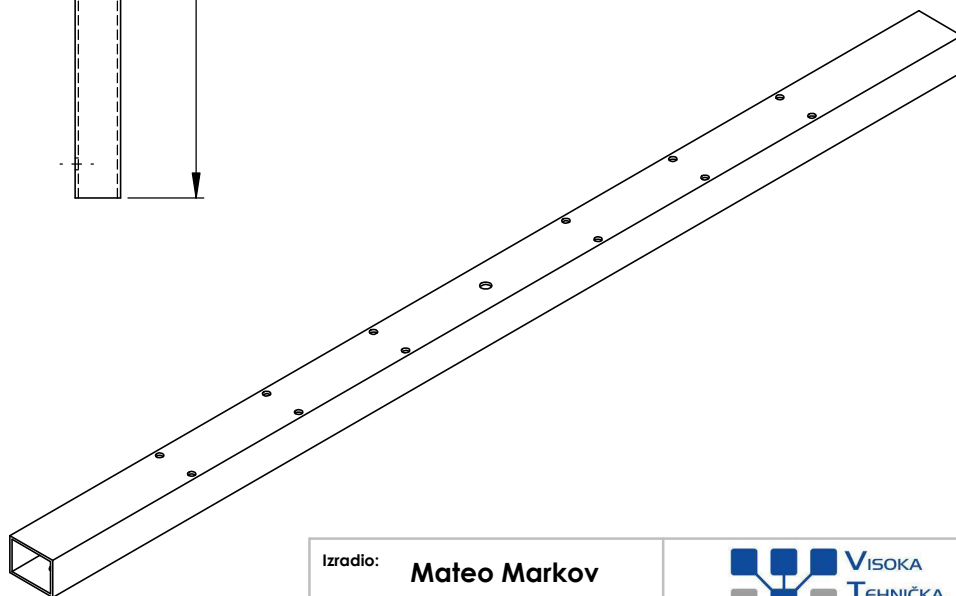
Izradio:	Mateo Markov		VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	KONSTRUKCIJA KUČIŠTA		
Naziv sklopa	KUČIŠTE SKLOPA		
M 1:10		SHEET 1 OF 6	
		A4	



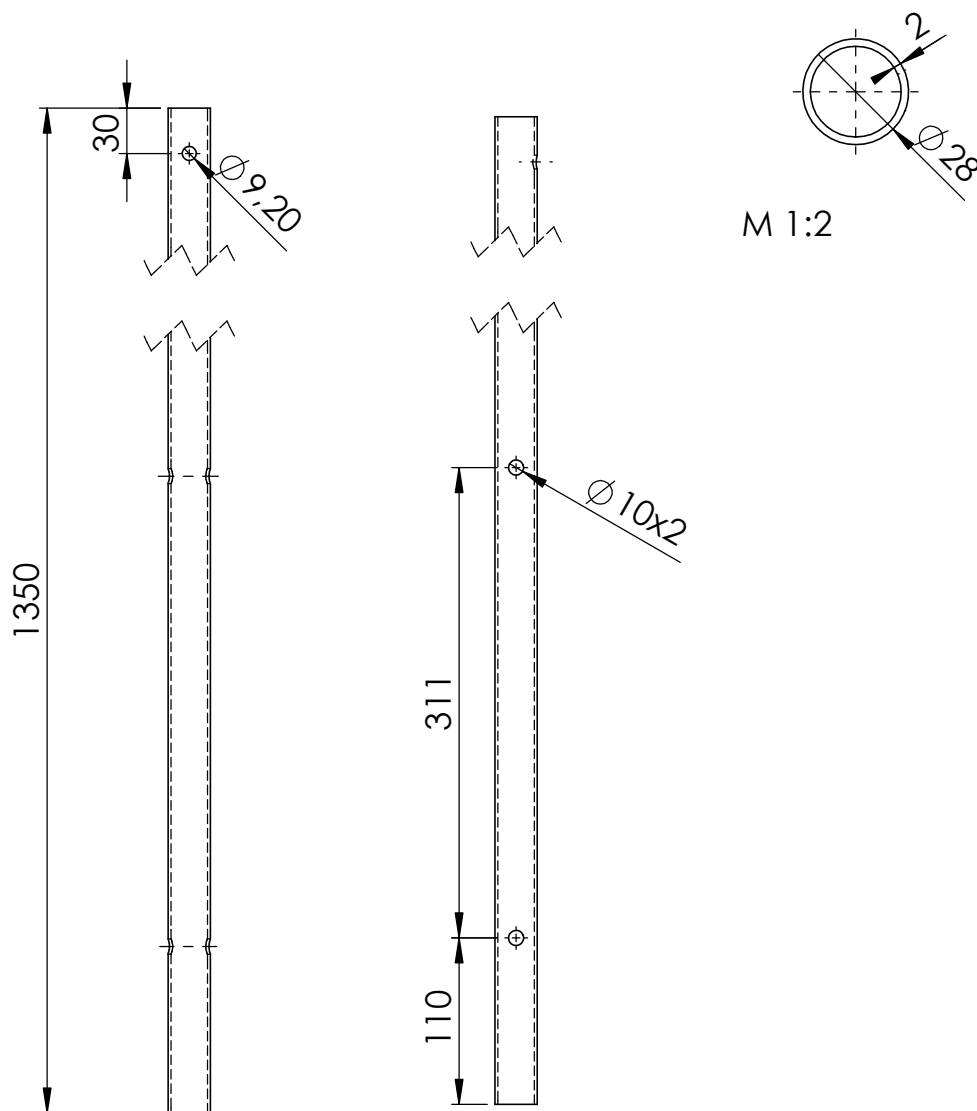
Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	PODLOGA KUČIŠTA		
Naziv sklopa	KUČIŠTE SKLOPA		
M 1:5		SHEET 2 OF 6	A4



NAPOMENA:
Rupe promjera 5 mm prolaze kroz cijeli
profil

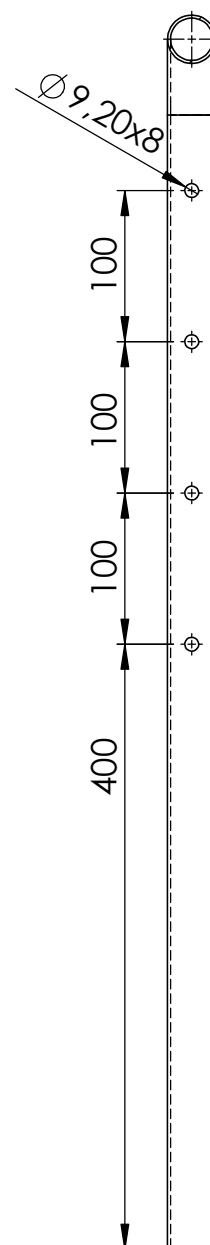
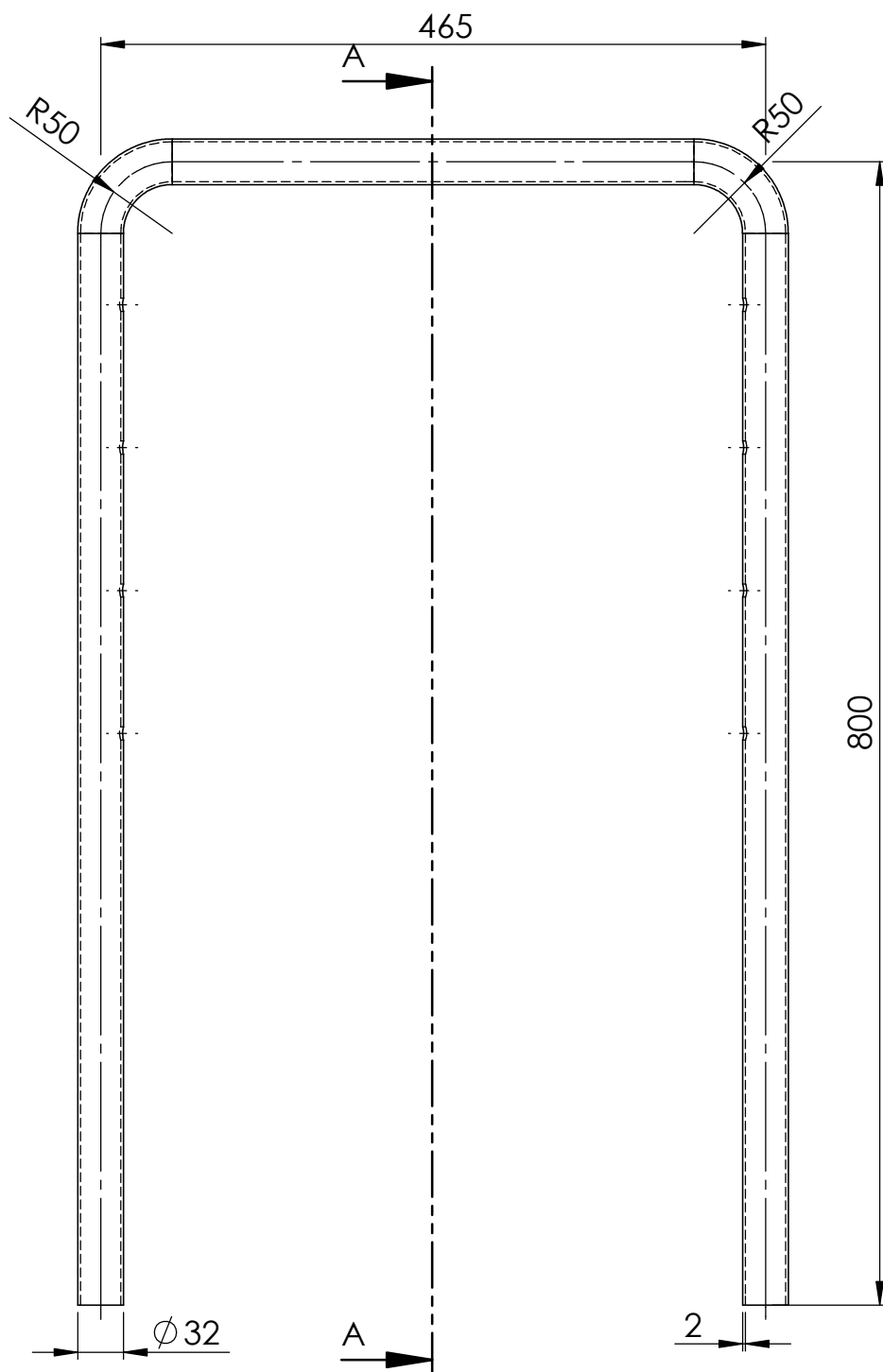


Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6060		
Naziv	PRAVOKUTNA CIJEV 40X30X850		
Naziv sklopa	KUČIŠTE SKLOPA		
M 1:5		SHEET 3 OF 6	A4

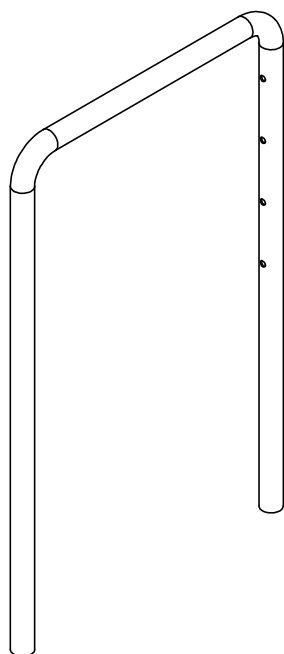


M 1:10

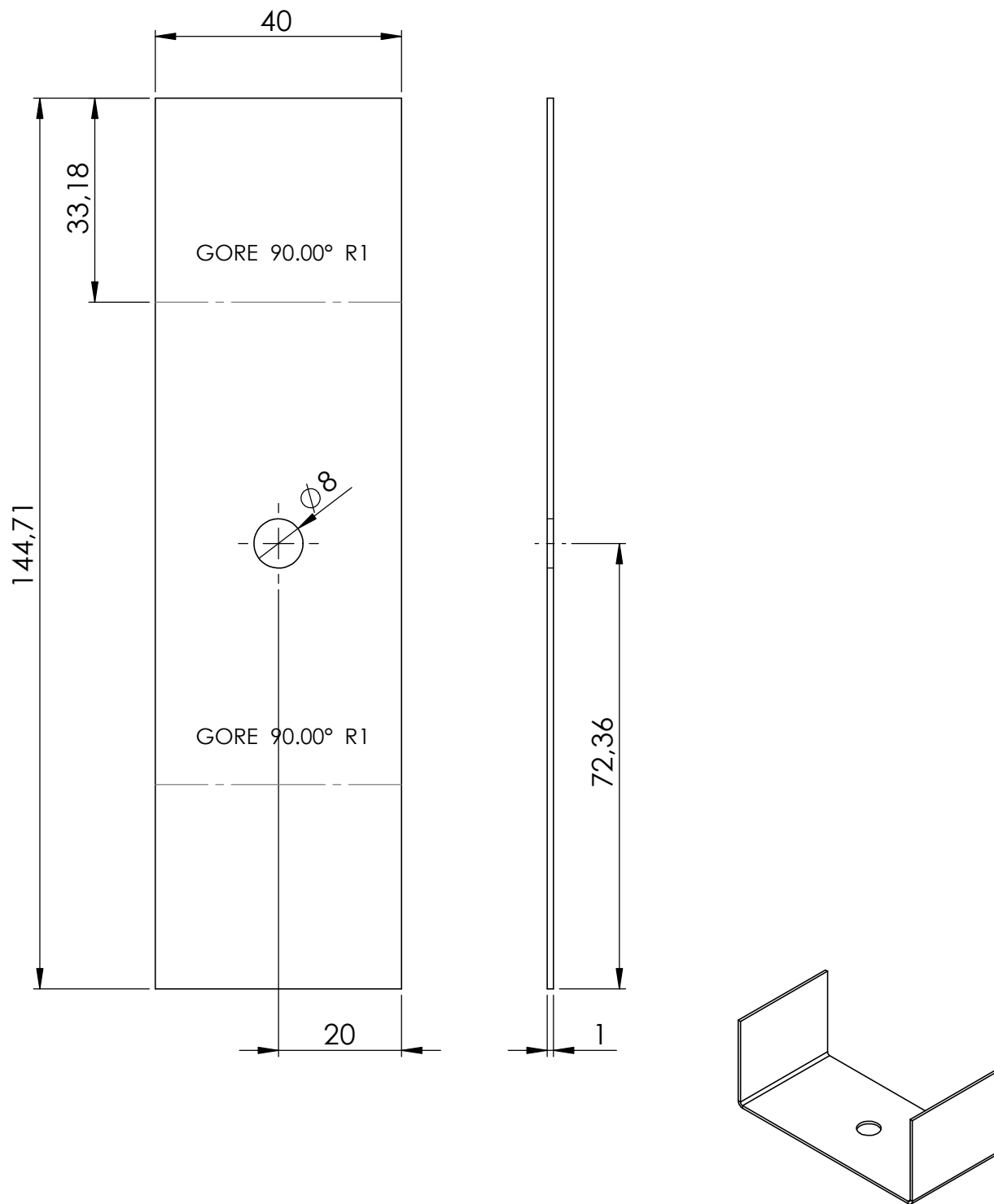
Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6060		
Naziv			
RUKOHVAT 1. DIO			
Naziv sklopa			
KUČIŠTE SKLOPA			
M 1:5 (1:2, 1:10)		SHEET 4 OF 6	
		A4	



PRESJEK A-A
M 1:5

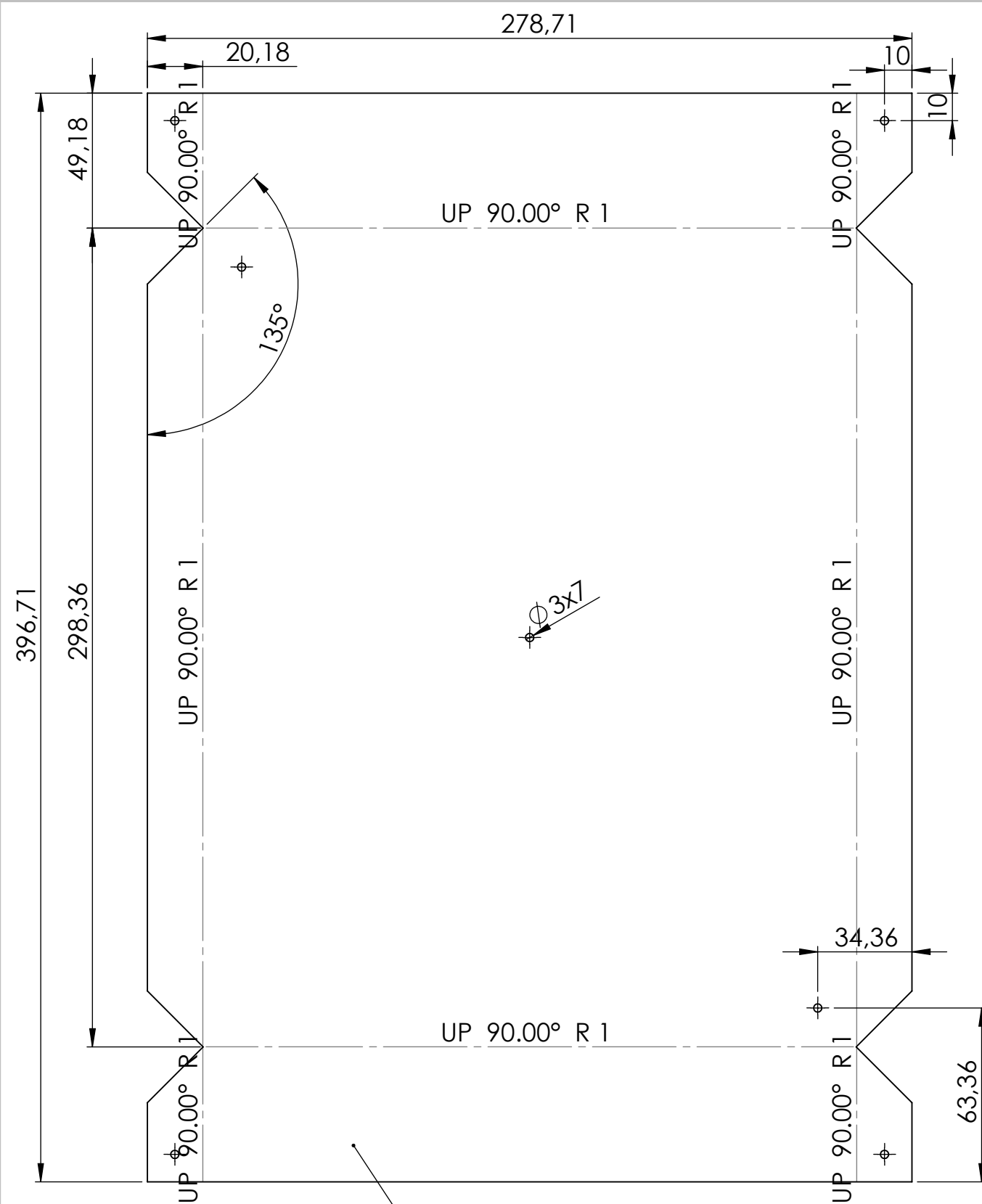


Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6060		
Naziv			
RUKOHVAT 2. DIO			
Naziv sklopa			
KUČIŠTE SKLOPA			
M 1:5 (1:10)		SHEET 5 OF 6	A4

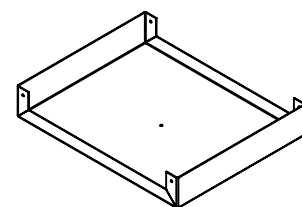


M 1:2

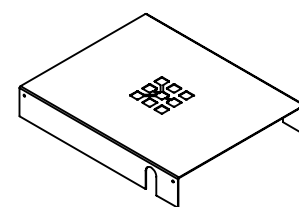
Izradio:	Mateo Markov		VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	KRAJNIK		
Naziv sklopa	KUČIŠTE SKLOPA		
M 1:1 (1:2)		SHEET 6 OF 6	
		A4	



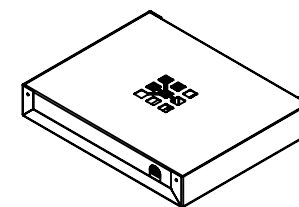
Debljina lima 1 mm



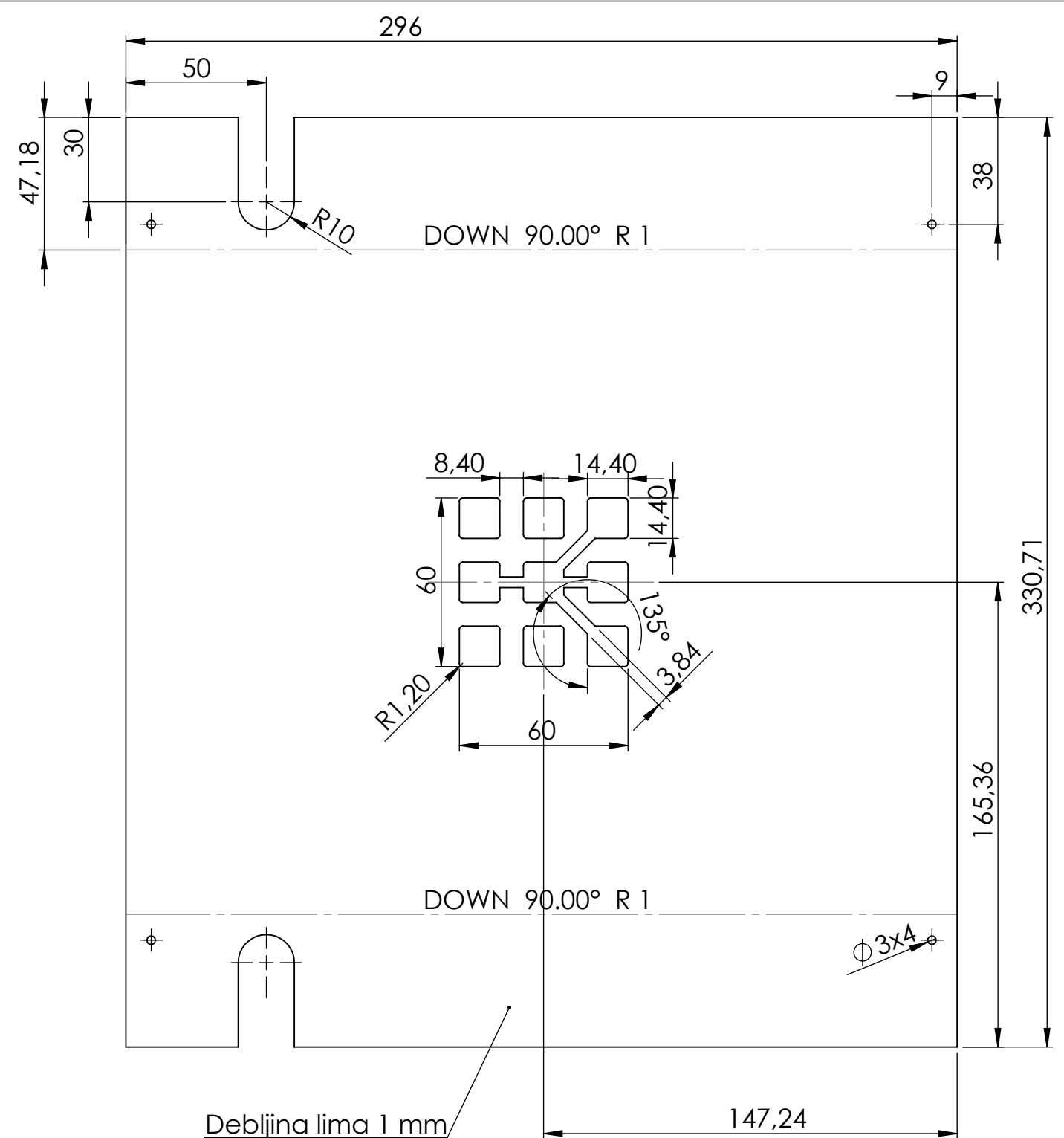
M 1:10




M 1:10

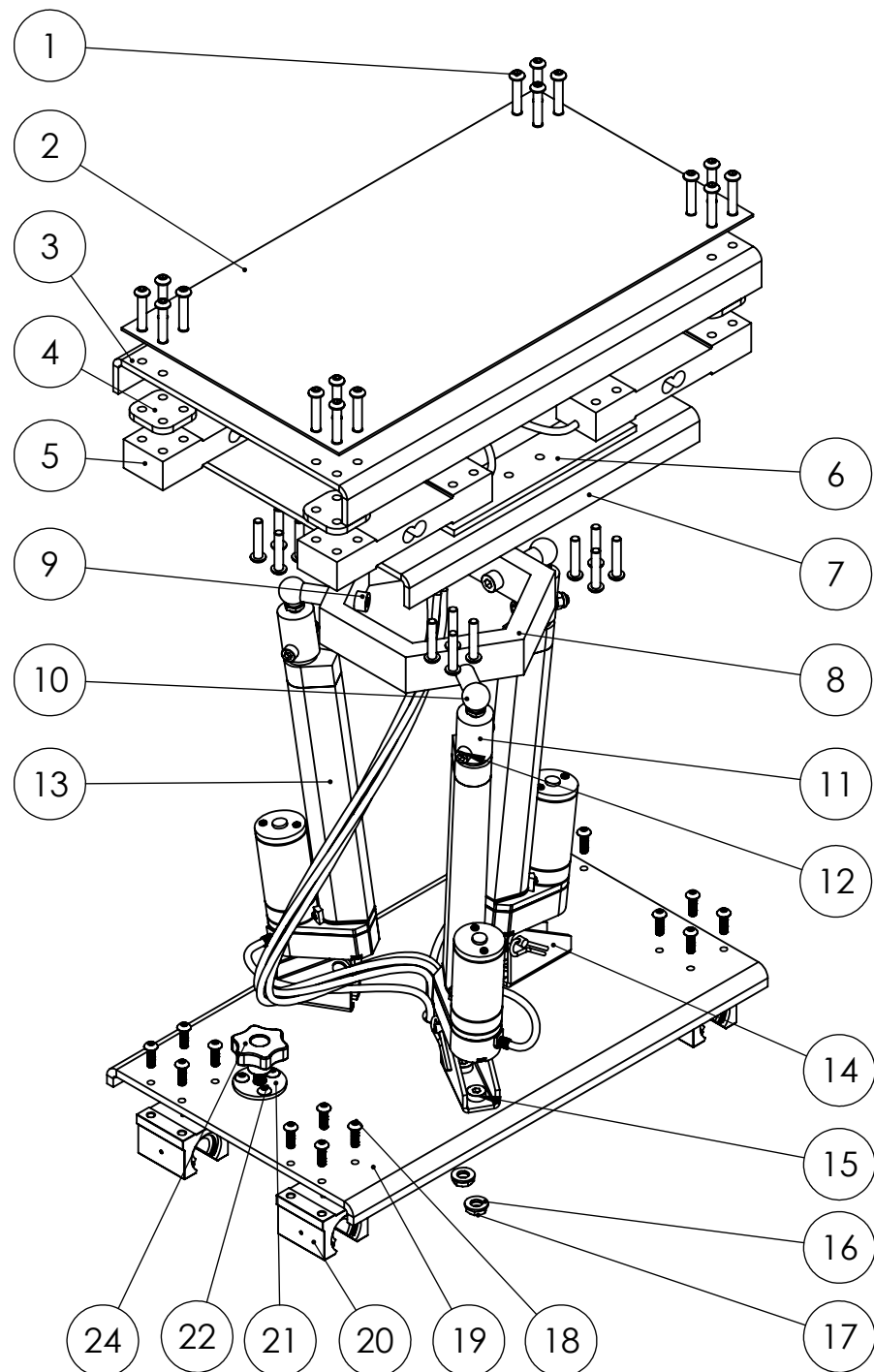
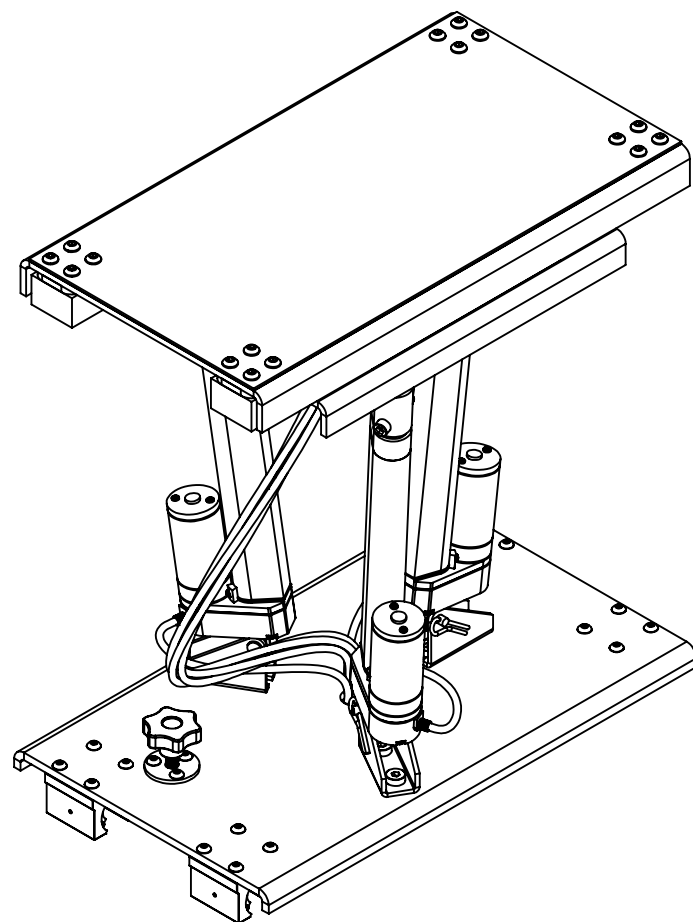
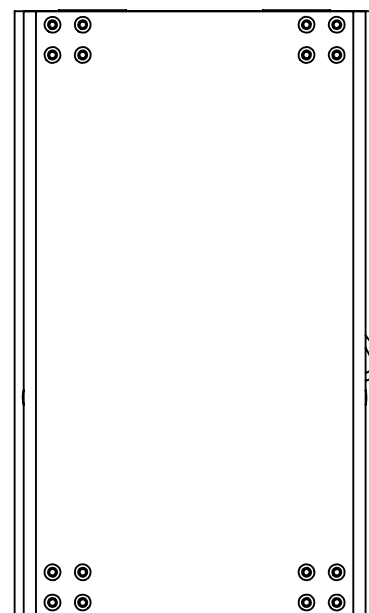
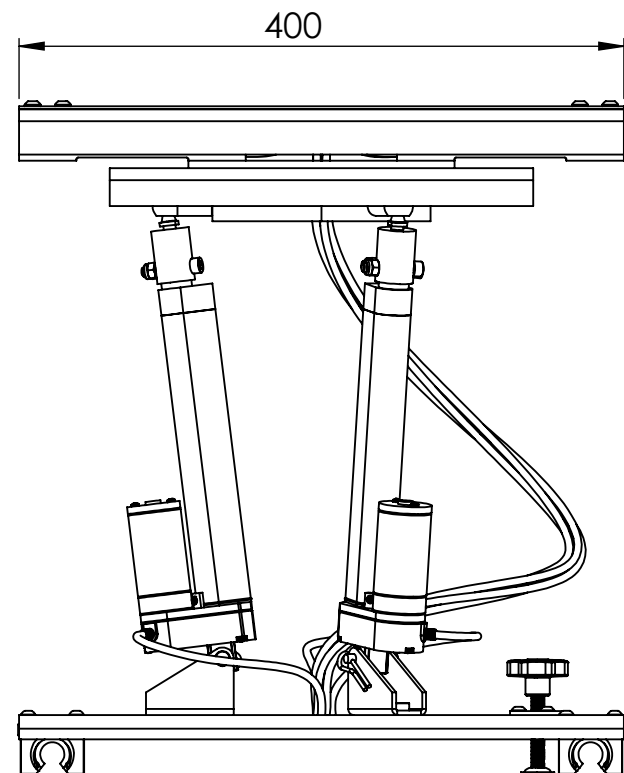
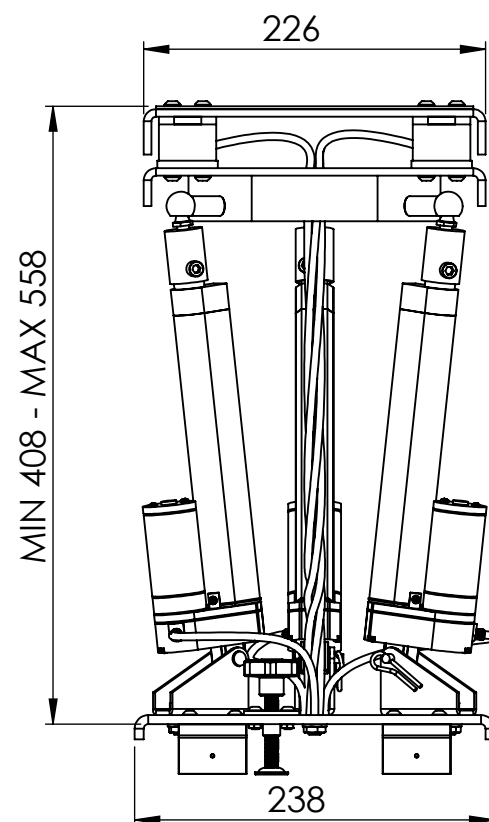


M 1:10



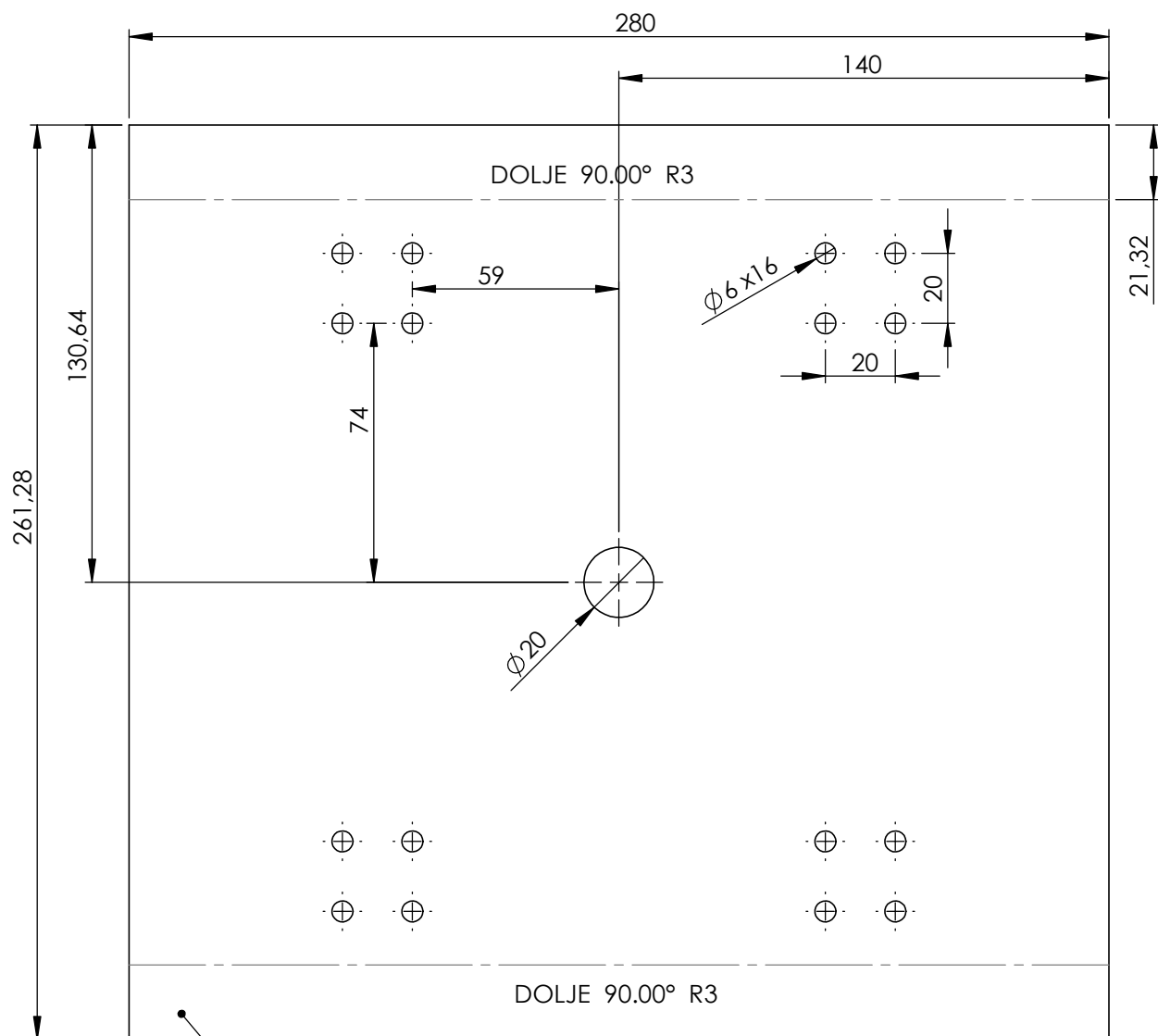
Debljina lima 1 mm

Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv	KUČIŠTE ZA ELEKTRONIKU		
Naziv sklopa	KUČIŠTE SKLOPA		
M 1:2 (1:10)		SHEET 1 OF 1	A3

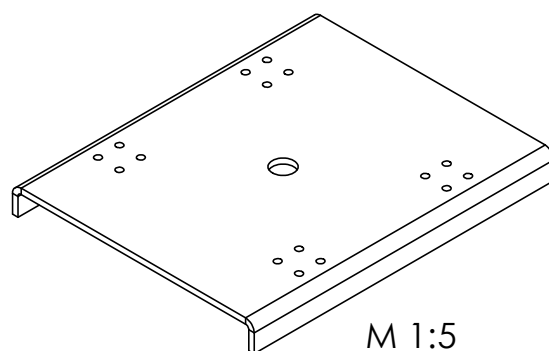


REDNI BROJ	NAZIV DIJELA	KOLIČINA
1	ISO 7380/10.9_M6x30mm	32
2	Protuklizna traka	1
3	Gornja ploča za platformu	1
4	Razdjelnik 1	4
5	Mjerna ćelija za težinu	4
6	Razdjelnik 2	2
7	Srednja ploča za platformu	1
8	Šesterokutni profil	1
9	DIN 912/8.8_M8x30mm	3
10	Kuglasti zglob M8	3
11	Spojka	3
12	DIN 912/8.8 M6x35mm	3
13	Linearni aktuator 150mm_150kg	3
14	Nosači za linearne aktuatore sa svornjakom	3
15	DIN 6912/8.8_M8x16mm	6
16	Podloška M8	6
17	DIN 439_M8	6
18	ISO 7380/0.9_M5x16mm	16
19	Donja ploča za platformu	1
20	SBR-16 linearni ležaj	4
21	T-vijak M8	1
22	ISO 7380/0.9_M5x12mm	3
23	DIN 439_M5	3
24	Vijak s ručkom M8x50mm	1

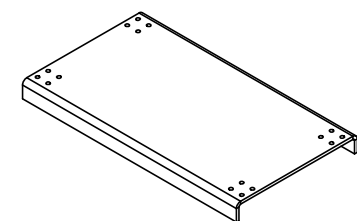
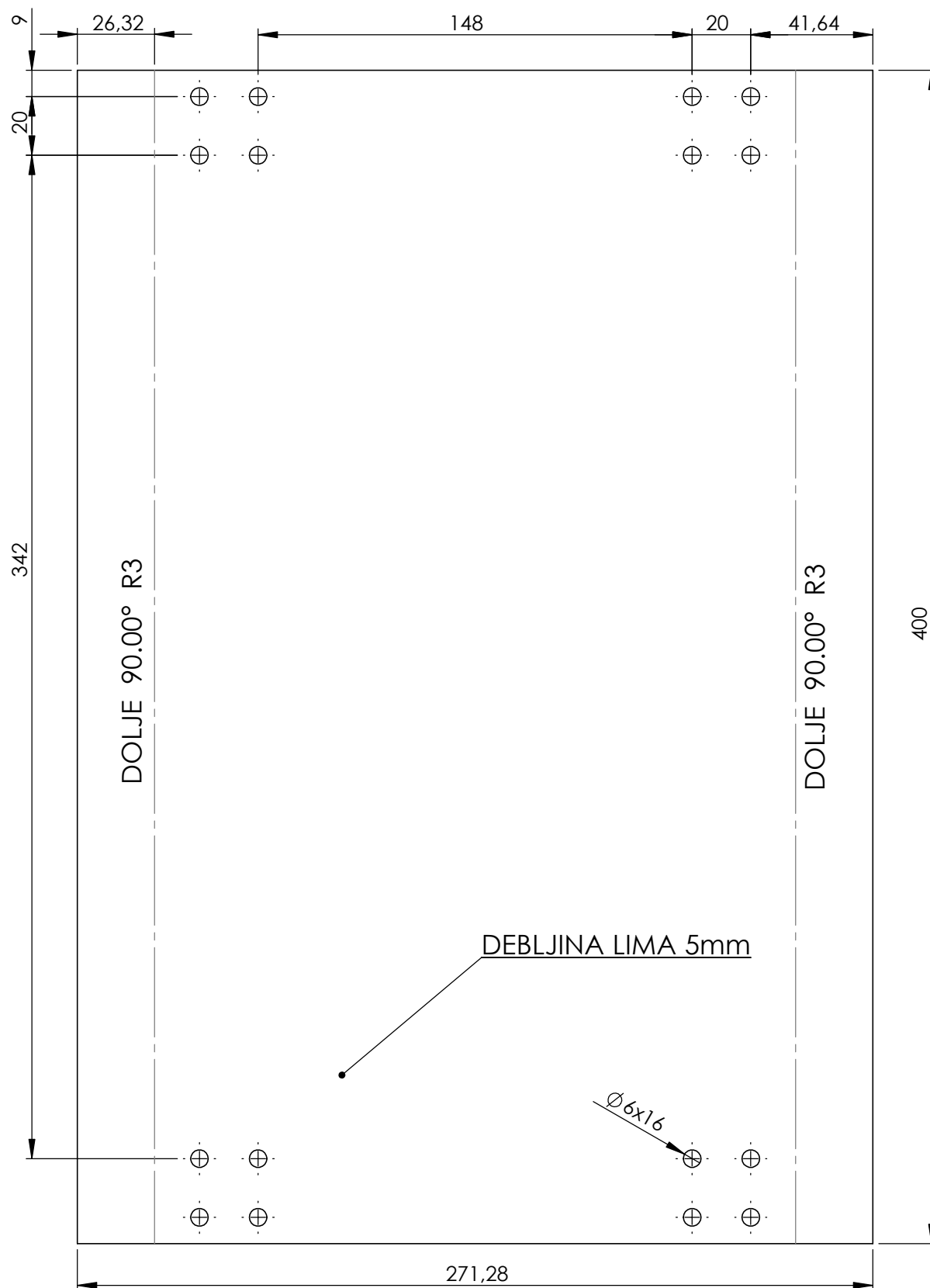
Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv	DESNA PLATFORMA ZA NOGU		
Naziv konfiguracije			
M 1:5		SHEET 1 OF 1	A3



DEBLJINA LIMA 5mm

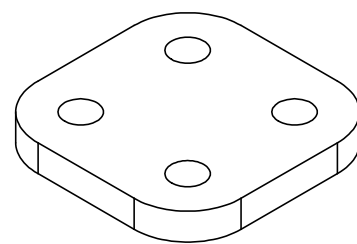
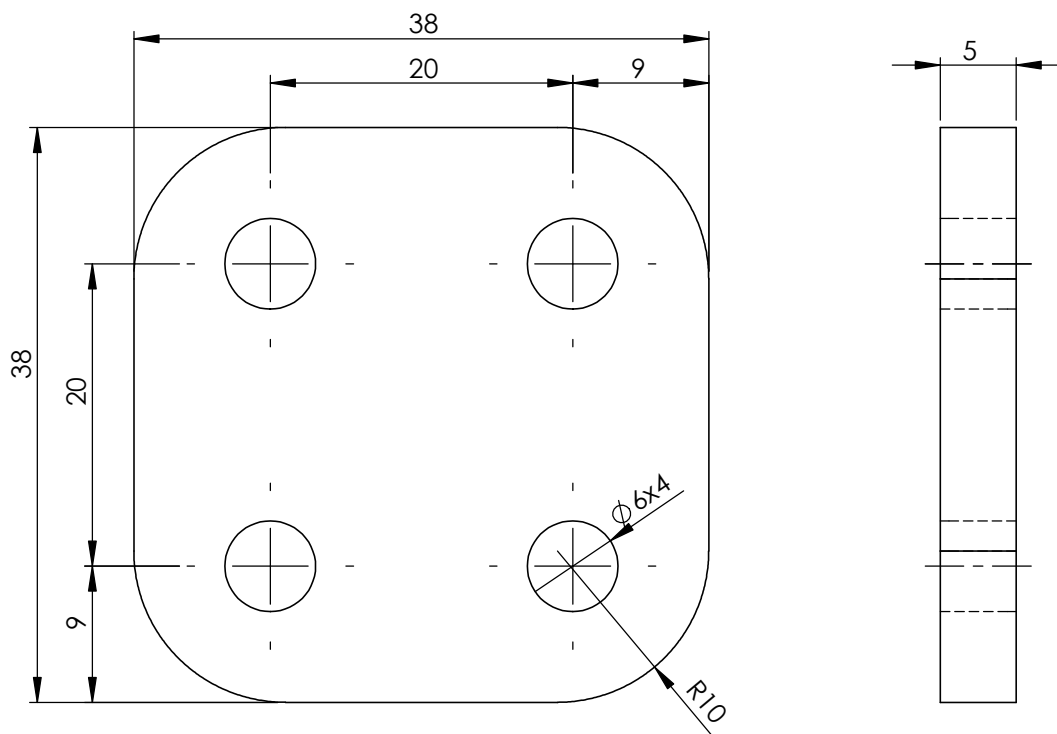


Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	SREDNJA PLOČA ZA NOGU		
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU		
M 1:2 (1:5)		SHEET 1 OF 9	A4



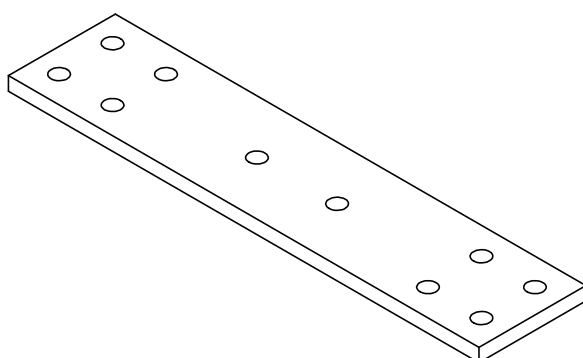
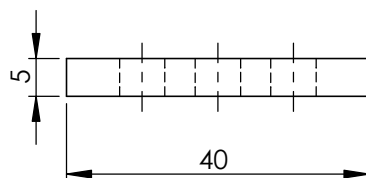
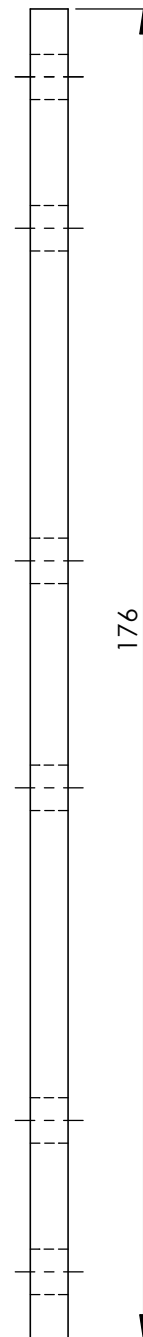
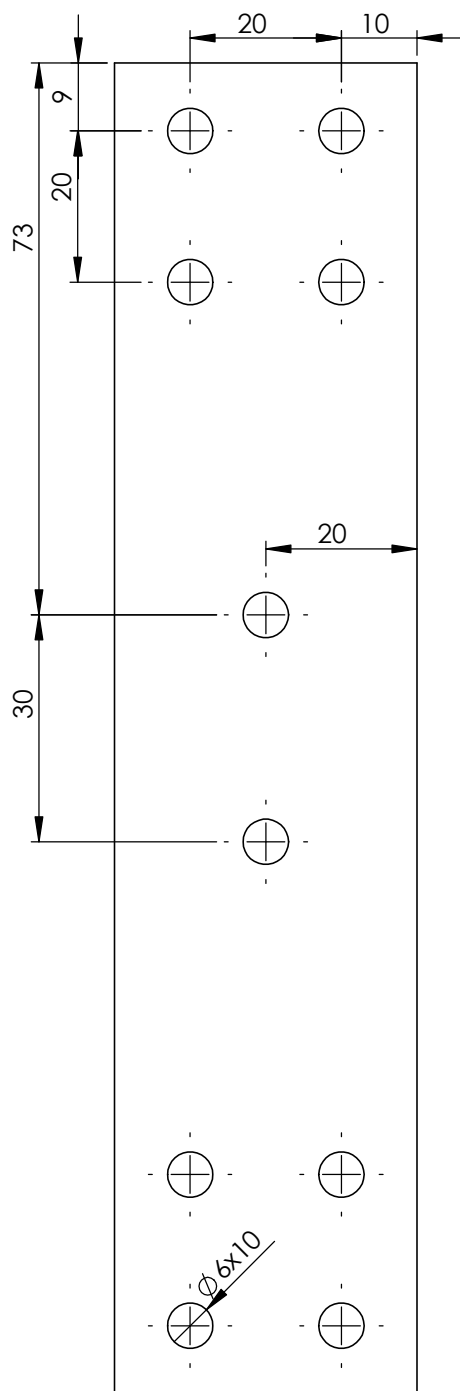
M 1:10

Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	GORNJA PLOČA ZA PLATFORME		
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU		
M 1:2 (1:10)		SHEET 2 OF 9	A4

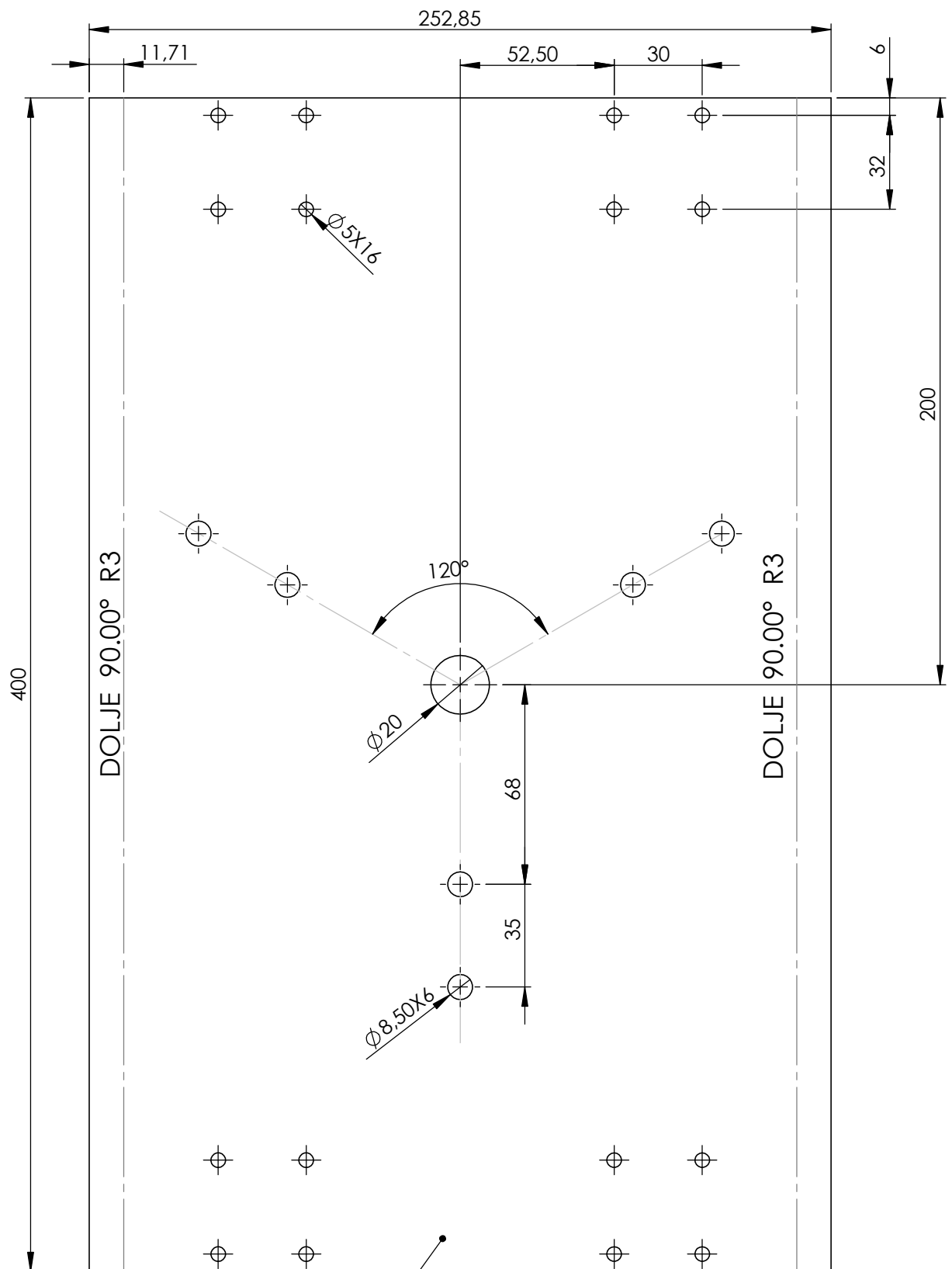


M 1:1

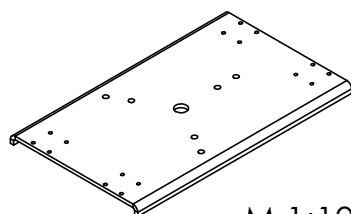
Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv			
RAZDJELNIK 1			
Naziv sklopa		PLATFORMA ZA NOGU	
M 2:1 (1:1)		SHEET 3 OF 9	A4



Izradio:	Mateo Markov			
Pregledao:	Tomislav Pavlic			
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.	
Materijal	Aluminij 1050			
Naziv	RAZDJELNIK 2			
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU			
M 1:2 (1:5)		SHEET 4 OF 9	A4	

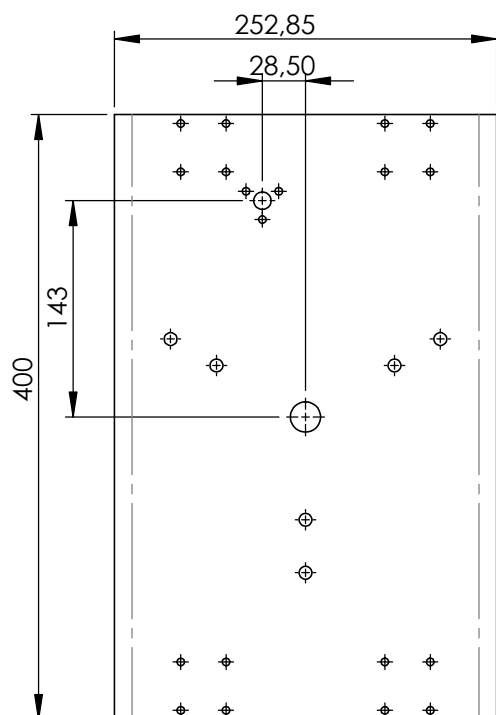


DEBLJINA LIMA 6mm

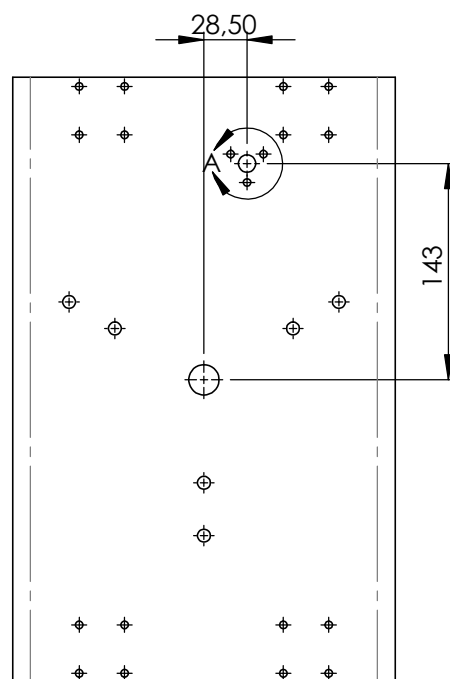


M 1:10

Izradio:	Mateo Markov			
Pregledao:	Tomislav Pavlic			
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.	
Materijal	Aluminij 1050			
Naziv	DONJA PLOČA ZA PLATFORME			
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU			
M 1:2 (1:10)		SHEET 5 OF 9	A4	



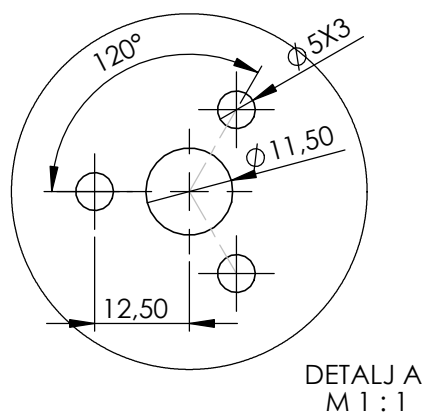
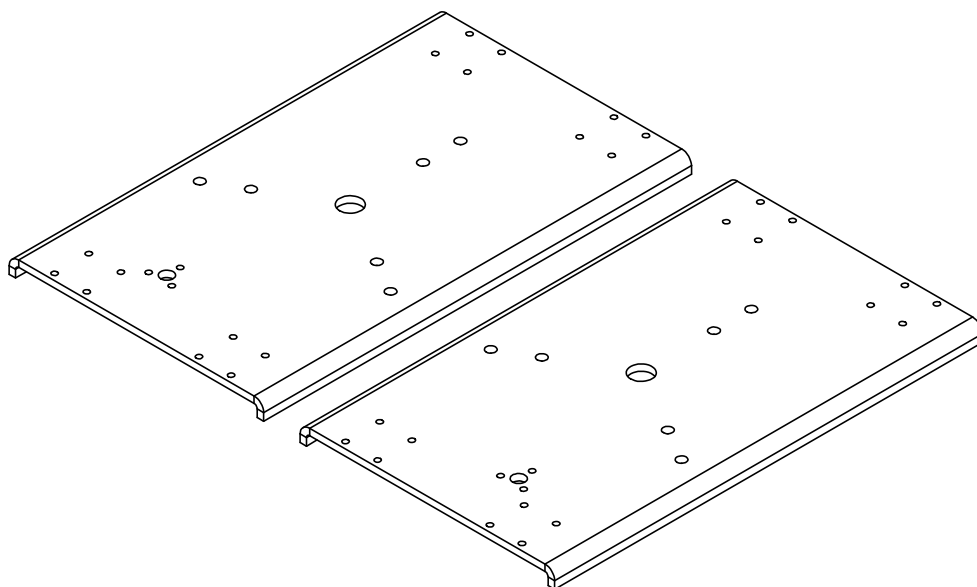
Lijeva donja ploča za platforme



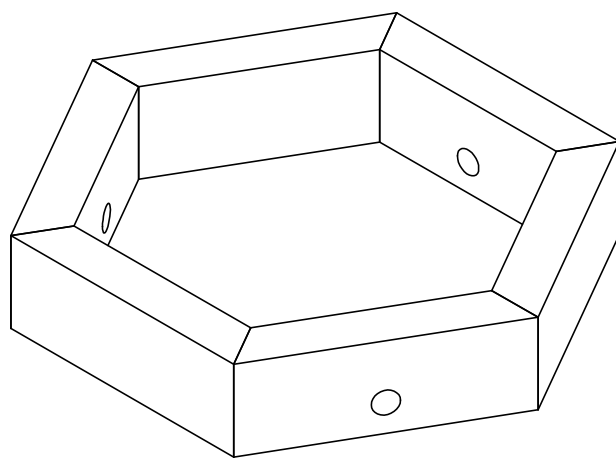
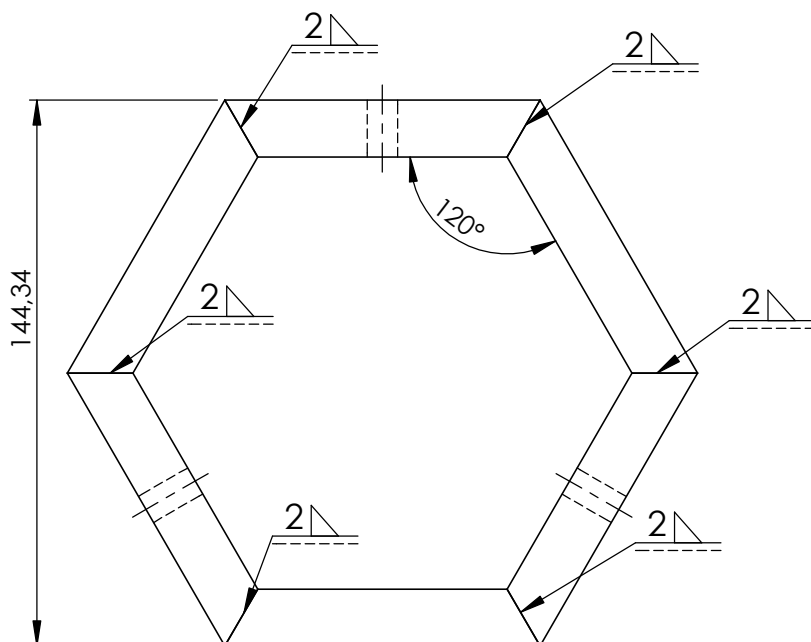
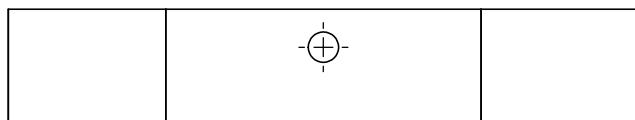
Desna donja ploča za platforme

Napomena:

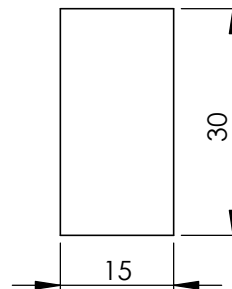
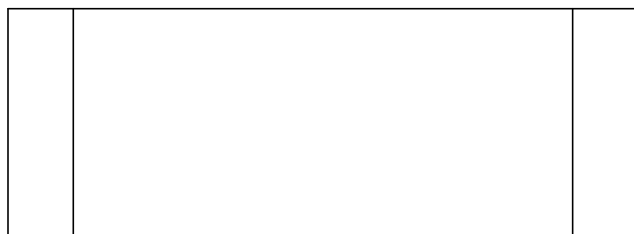
Za drugu verziju kočnica dodavaju se utori prikazani na detalju A



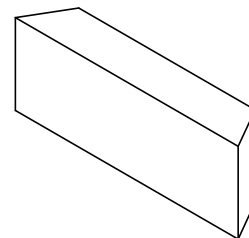
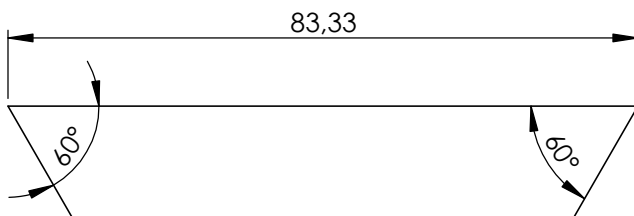
Izradio:	Mateo Markov	
Pregledao:	Tomislav Pavlic	
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene 2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050	
Naziv	LIJEVA I DESNA DONJA PLOČA ZA PLATFORME	
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU	
M 1:5		SHEET 6 OF 9
		A4



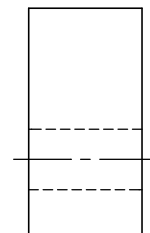
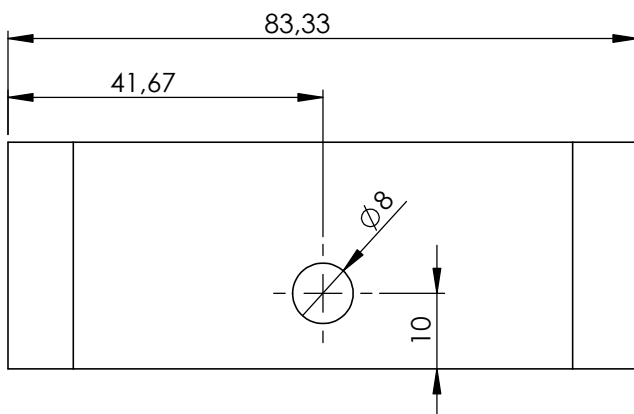
Izradio:	Mateo Markov	
Pregledao:	Tomislav Pavlic	
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene 2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6060	
Naziv	ŠESTEROKUTNI PROFIL	
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU	
M 1:2 (1:5)		SHEET 7 OF 9
		A4



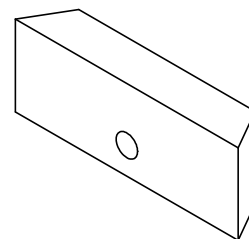
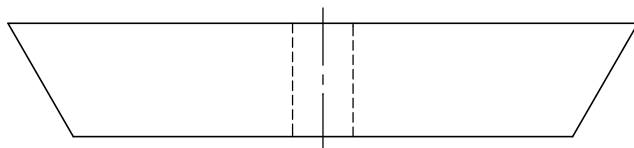
NAPOMENA:
3x KOMADA



M 1:1

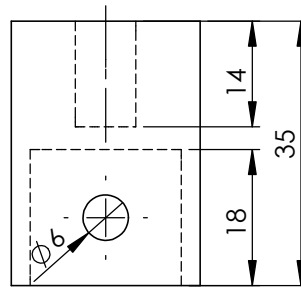
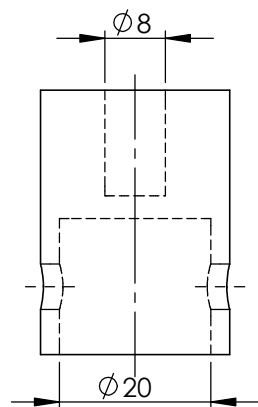


NAPOMENA:
3x KOMADA

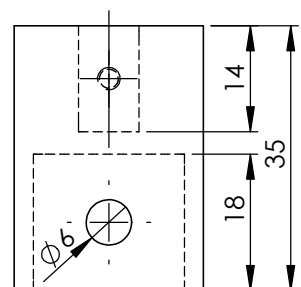
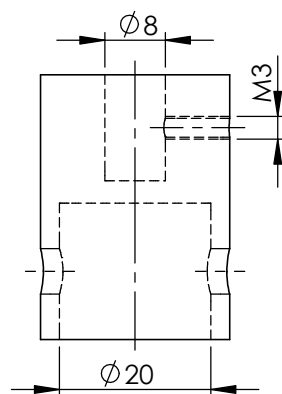
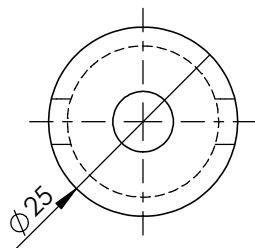
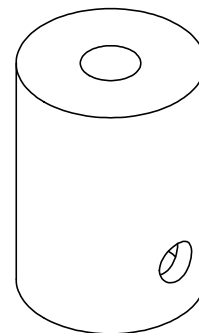


M 1:1

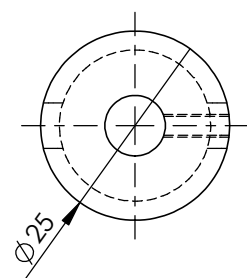
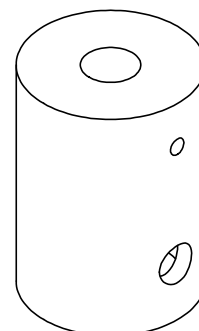
Izradio:	Mateo Markov		VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6060		
Naziv	ELEMENTI ŠESTEROKUTNOG ZAVARENOG PROFILA		
Naziv sklopa	PLATFORMA ZA NOGU		
M	1:1 (1:2)	SHEET 8 OF 9	A4



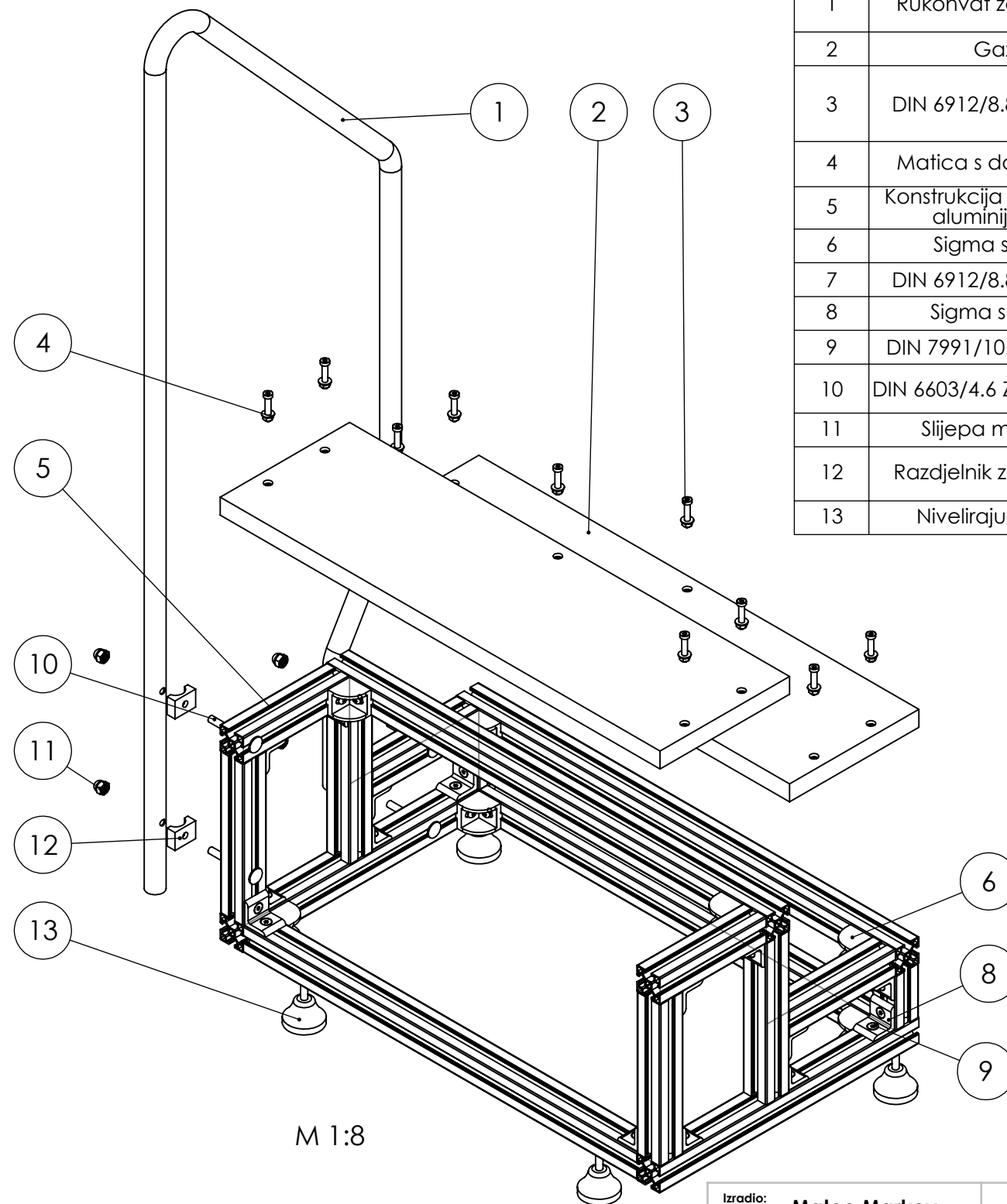
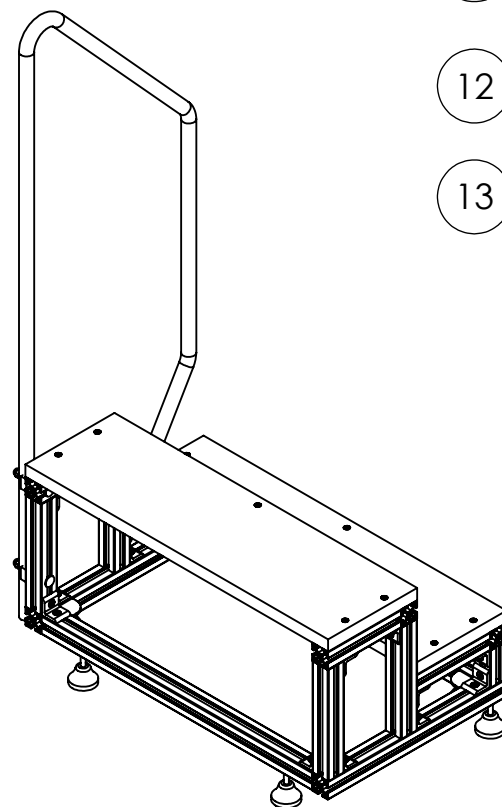
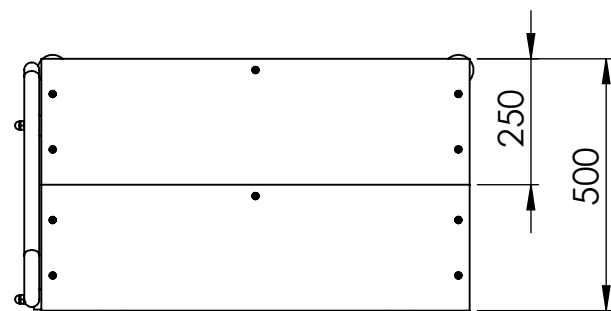
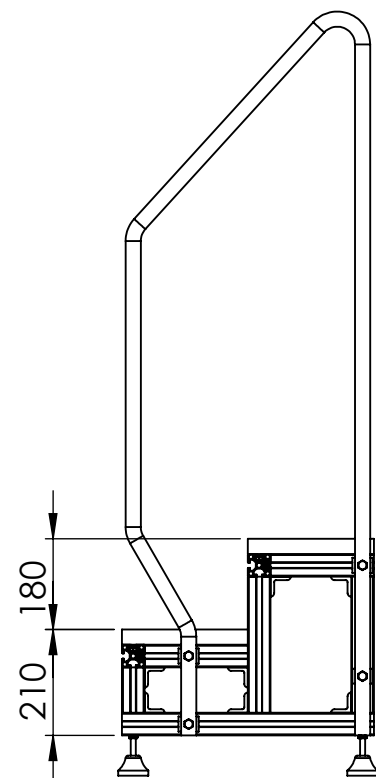
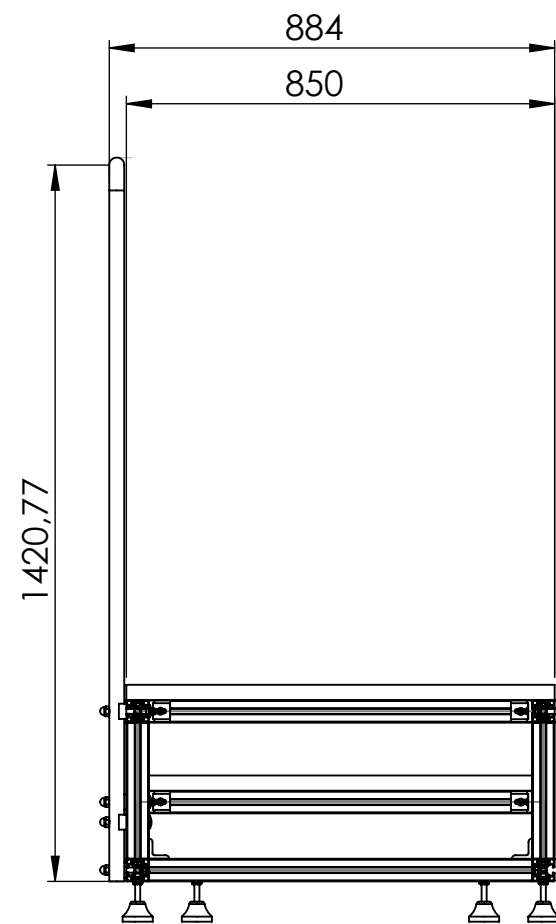
VERZIJA 1



VERZIJA 2



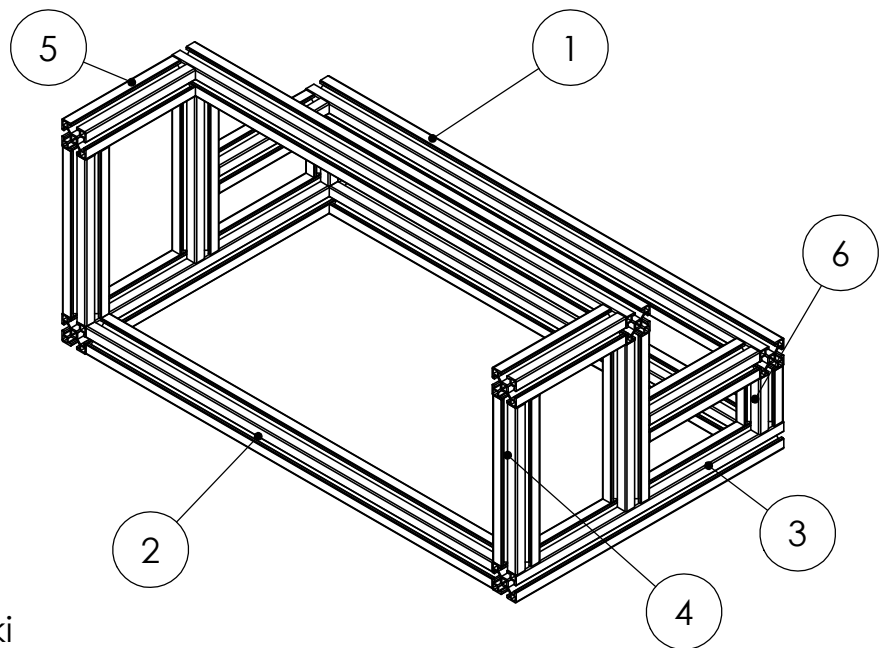
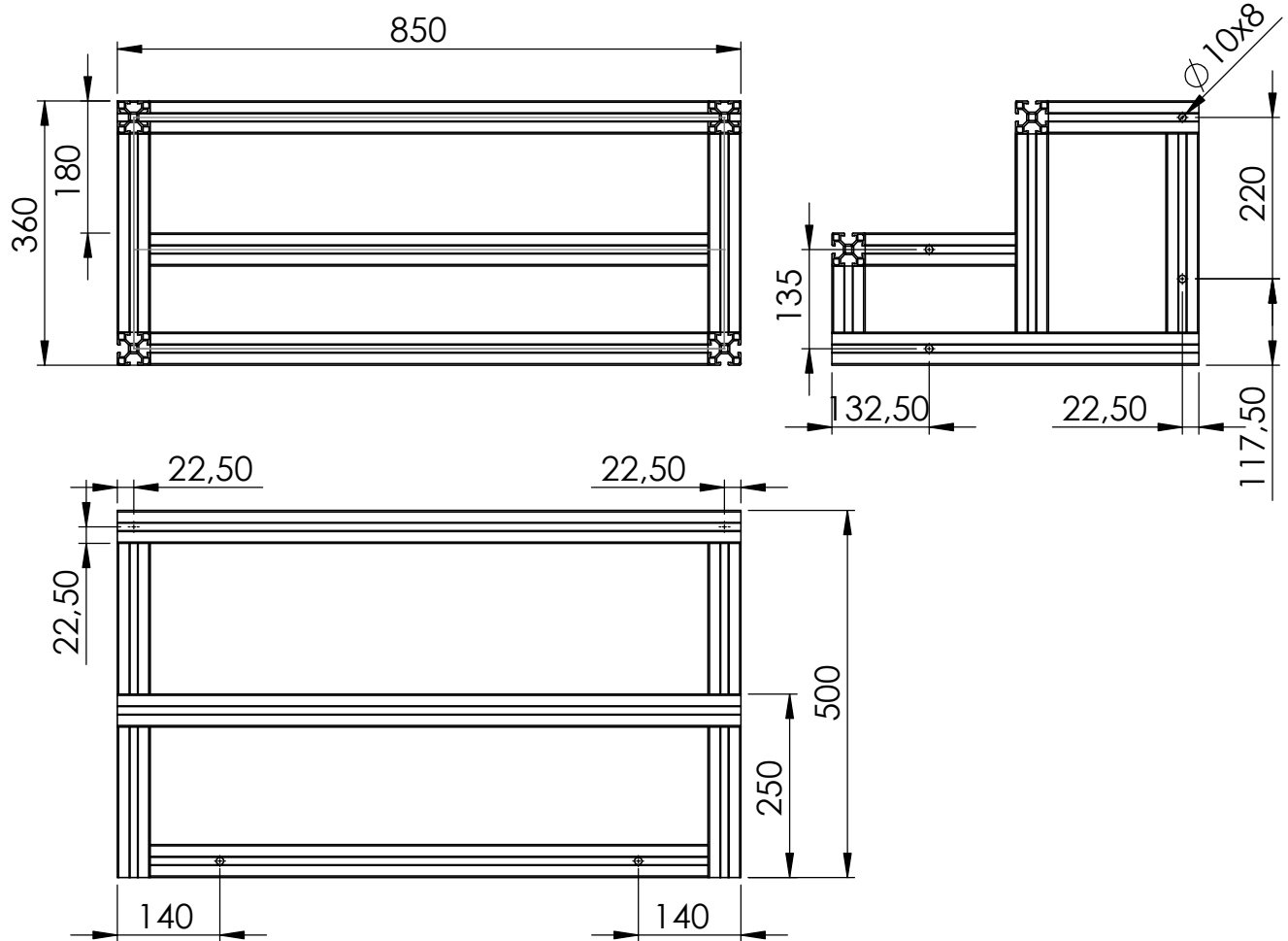
Izradio:	Mateo Markov		VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 2011		
Naziv SPOJKA			
Naziv sklopa PLATFORMA ZA NOGU			
M 1:1		SHEET 9 OF 9	A4



M 1:8

REDNI BROJ	NAZIV ELEMENTA	KOLIČINA
1	Rukohvat za stepenice	1
2	Gazište	2
3	DIN 6912/8.8_M8x40mm	10
4	Matica s dosjedom M8	58
5	Konstrukcija za stepenice aluminijски profili	1
6	Sigma spoj G55	8
7	DIN 6912/8.8_M8x20mm	16
8	Sigma spoj 53/A	16
9	DIN 7991/10.9_M8x20mm	32
10	DIN 6603/4.6 Zn_M10x80mm	4
11	Slijepa matica M8	4
12	Razdjelnik za rukohvate	4
13	Nivelirajuće nožice	4

Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv			
STEPENICE			
Naziv konfiguracije			
M 1:15 (1:8)		SHEET 1 OF 1	A3

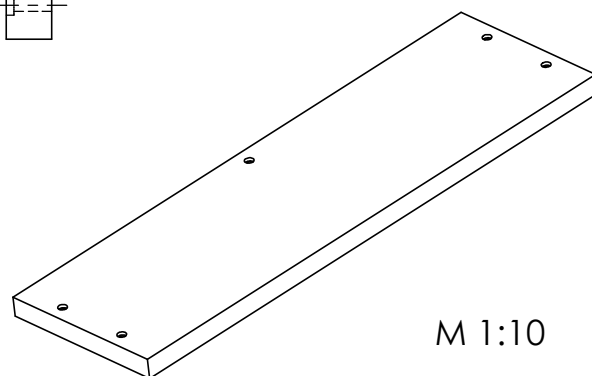
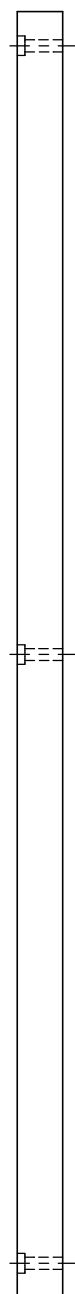
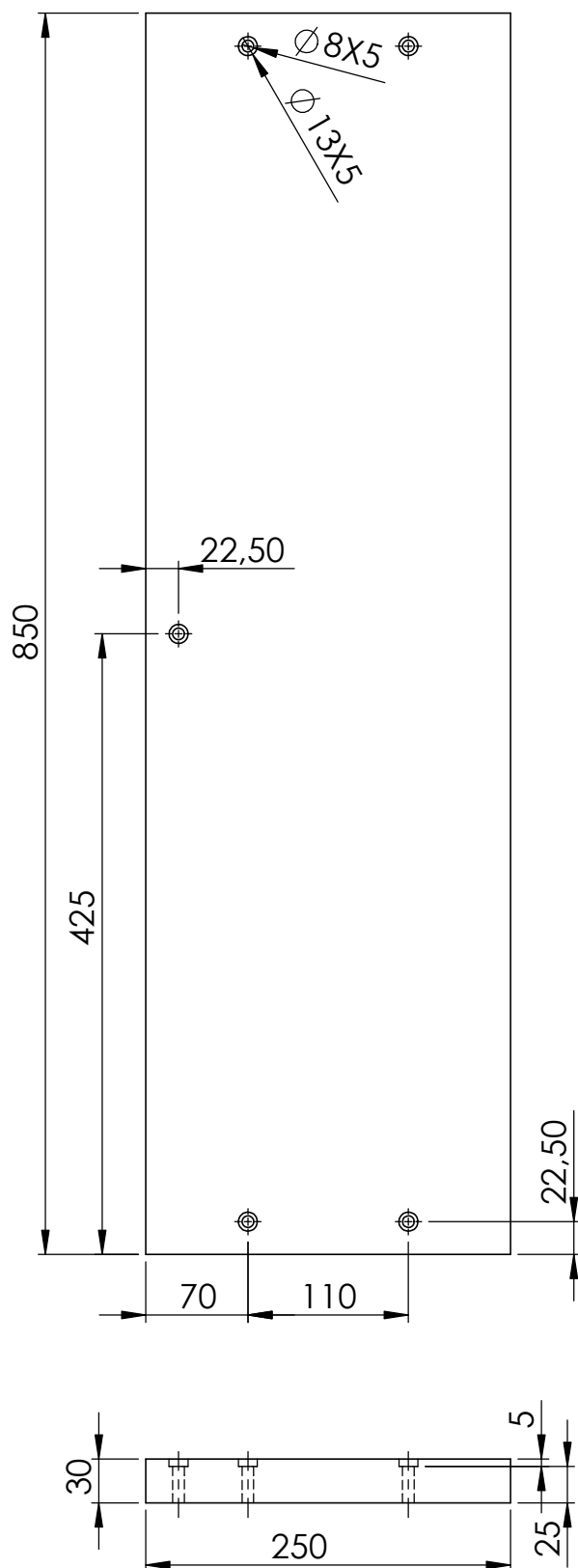


NAPOMENA:

Korišteni sigma aluminijski
porfili dimenzija 45x45 mm

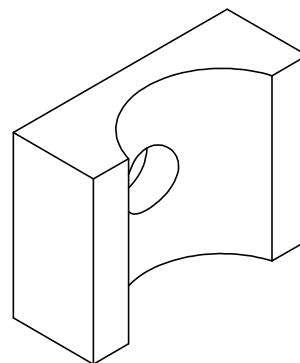
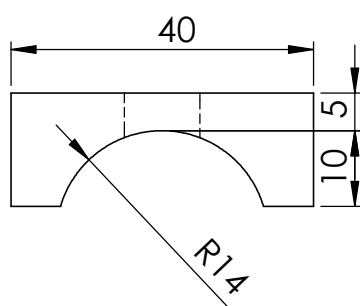
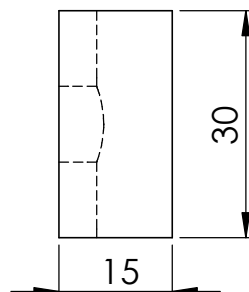
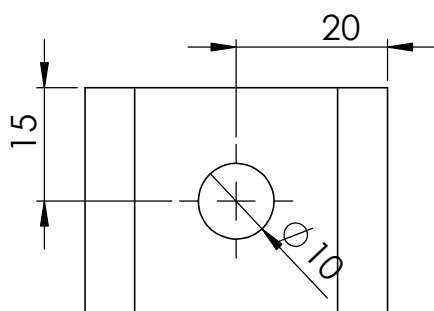
BROJ KOMPONENTE	KOLIČINA	DUŽINA
1	2	850
2	2	760
3	2	500
4	4	270
5	4	205
6	2	90

Izradio:	Mateo Markov	 VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU	
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 6063		
Naziv			
KONSTRUKCIJA ZA STEPENICE			
Naziv sklopa		STEPENICE	
M 1:5		SHEET 1 OF 4	A4

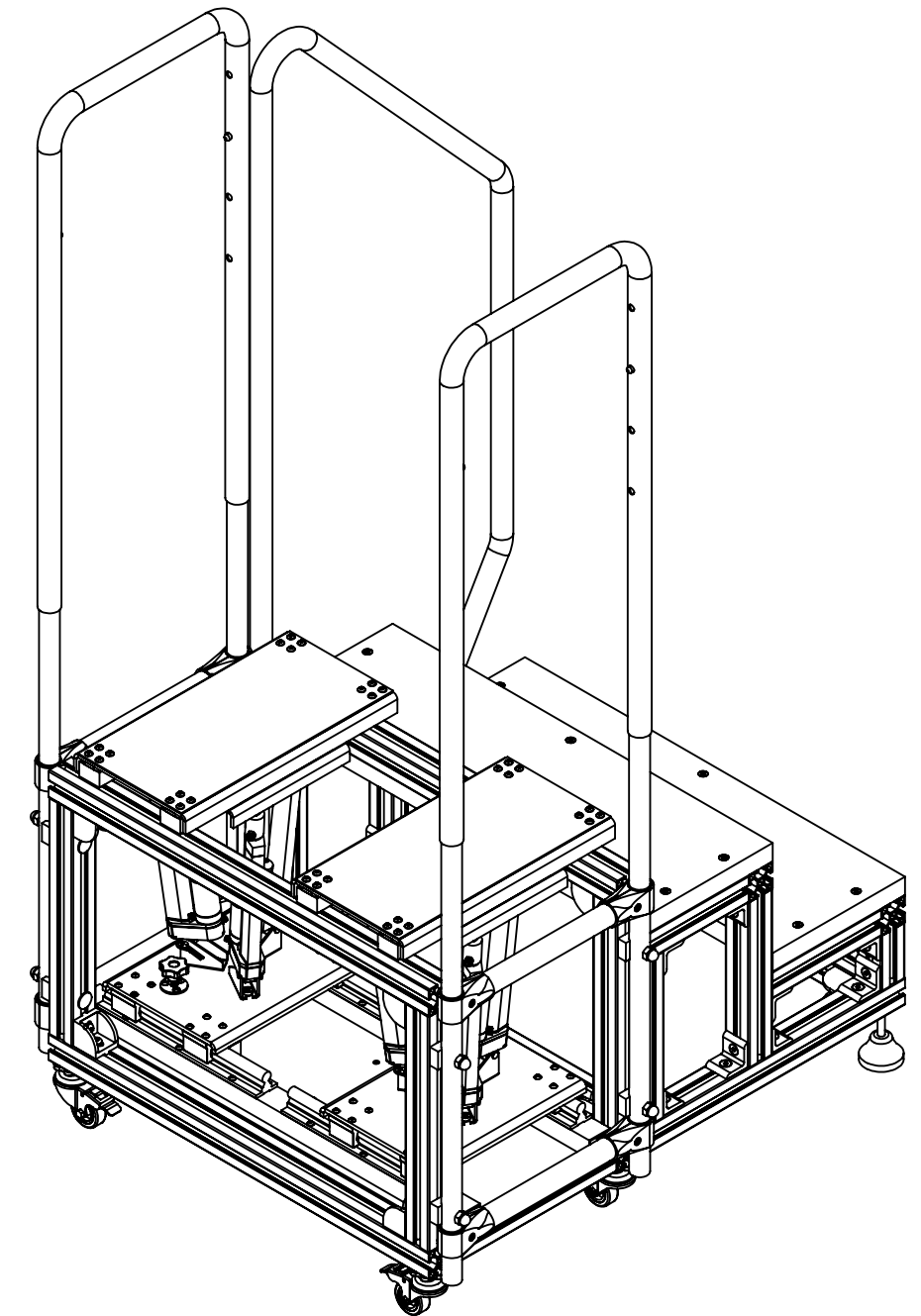
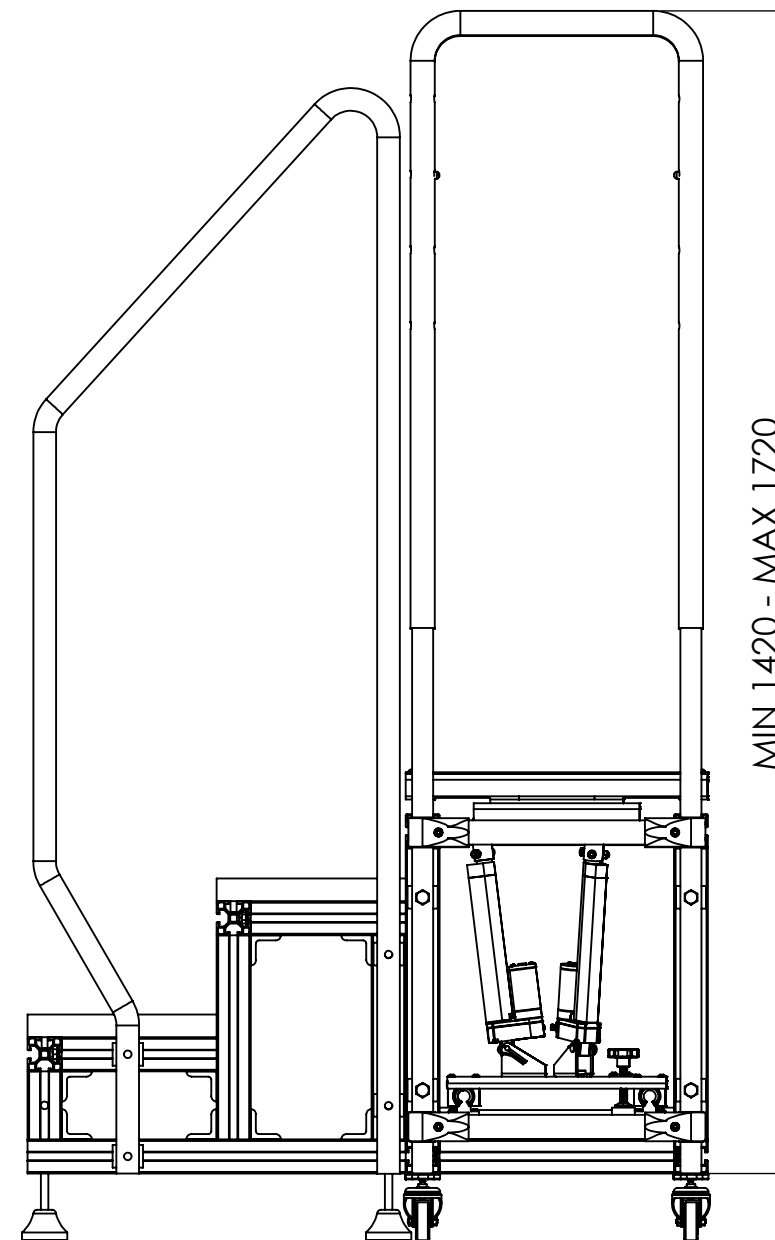
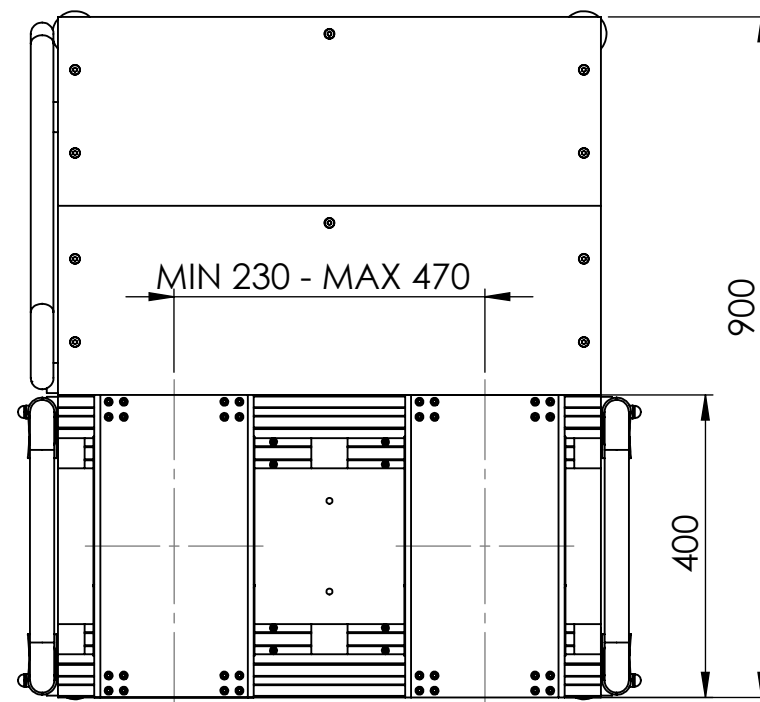
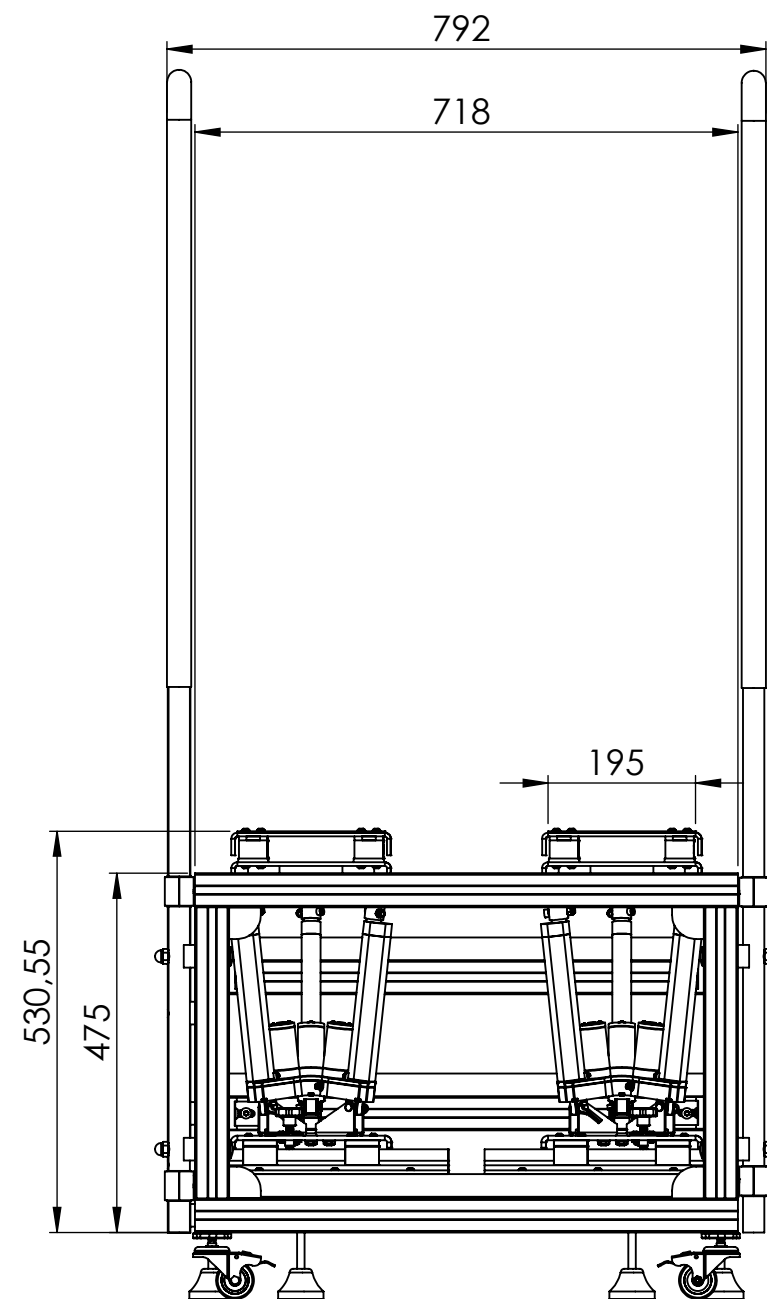


M 1:10

Izradio:	Mateo Markov		VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	DRVO		
Naziv	GAZIŠTE		
Naziv sklopa	STEPENICE		
M	1:5 (1:10)	SHEET 2 OF 4	A4



Izradio:	Mateo Markov	 VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU	
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	2. veljača 2017.	Datum izmjene	2. veljača 2017.
Materijal	Aluminij 1050		
Naziv	RAZDJELNIK ZA RUKOHVATE		
Naziv sklopa	STEPENICE		
M 1:1		SHEET 4 OF 4	A4



Izradio:	Mateo Markov		
Pregledao:	Tomislav Pavlic		
Datum izrade	1. veljača 2017.	Datum izmjene	1. veljača 2017.
Materijal			
Naziv	PROTOTIP MEHANIČKOG SKLOPA ZA DINAMIČKU EVALUACIJU DRŽANJA LJUDSKOG TIJELA - VERZIJA 2		
Naziv konfiguracije			
M 1:10		SHEET 1 OF 1	A3

Završni rad izrađen je u Bjelovar, 14.4.2017.

(Potpis studenta)

Prema Odluci Visoke tehničke škole u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Visoke tehničke škole u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

MATEO MARKOV

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 14.04.2017. g.

Mateo Markov

potpis studenta/ice

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>14.04.2017.g.</u>	MATEO MARKOV	Mateo Markov